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

2026

Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ
(политехнический вестник)

2026, № 3

**(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)

2026, № 3

**(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

Шипулин В.И.
Достижения научно-педагогической школы профессора Касьянова Г.И. 15

Shipulin V.I.
Achievements of the scientific and pedagogical school
of professor G.I. Kasyanov

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

Багишян Л.С., **Абу-Аси Д.М.**, **Федотова М.В.**
Химический анализ состава и свойств атмосферных выбросов
нефтеперерабатывающих заводов 25

Bagishyan L.S., **Abu-Asi D.M.**, **Fedotova M.V.**
Chemical analysis of the composition
and properties of atmospheric emissions from oil refineries

Золотокопов А.В., **Касьянов Г.И.**
Новые подходы к формированию качества
комбинированных пищевых систем на базе рыбного сырья 29

Zolotokopov A.V., **Kasyanov G.I.**
New approaches to quality formation
in combined food systems based on fish raw material

Изюмский А.А., **Кабишева В.М.**, **Нагорный В.В.**, **Олифер В.А.**
Перспективы и тренды развития транспортно-логистических услуг:
цифровизация, экология и прогнозы на 5–10 лет 39

Izyumsky A.A., **Kabisheva V.M.**, **Nagorny V.V**, **Olifer V.A.**
Prospects and trends in the development of transport and logistics services:
digitalization, ecology and forecasts for 5–10 years

Кабишева В.М., **Надирян С.Л.**, **Кузьмина М.А.**, **Олифер В.А.**
Ключевые факторы развития региональных рынков
транспортно-логистических услуг: экономика, политика и инфраструктура 44

Kabisheva V.M., **Nadiryan S.L.**, **Kuzmina M.A.**, **Olifer V.A.**
Key drivers of regional transport and logistics services markets:
economics, politics and infrastructure

Коновалова Т.В., **Надирян С.Л.**, **Гонтарук А.В.**
Влияние точности цифрового расписания
на экологическую эффективность маршрутной сети:
сравнительный анализ районов с разной долей экологичного транспорта 50

Konovalova T.V., **Nadiryan S.L.**, **Gontaruk A.V.**
The impact of the accuracy of digital schedules
on the environmental efficiency of the route network:
a comparative analysis of areas with different shares
of environmentally friendly transport

Коновалова Т.В., **Надирян С.Л.**, **Гонтарук А.В.**, **Чумак А.А.**
Анализ исследований в области организации перевозок пассажиров, осуществляемых различными видами транспорта в городах 54

Konovalova T.V., **Nadiryan S.L.**, **Gontaruk A.V.**, **Chumak A.A.**
Analysis of research in the field of organizing passenger transportation using various modes of transport in cities

Коновалова Т.В., **Надирян С.Л.**, **Гонтарук А.В.**, **Чумак А.А.**
Методы размещения транспортно-пересадочных узлов в города 59

Konovalova T.V., **Nadiryan S.L.**, **Gontaruk A.V.**, **Chumak A.A.**
Methods for locating transport hubs within cities

Коновалова Т.В., **Котенкова И.Н.**, **Гонтарук А.В.**, **Козадерова А.Д.**
Анализ транспортных моделей городов 63

Konovalova T.V., **Kotenkova I.N.**, **Gontaruk A.V.**, **Kozaderova A.D.**
Analysis of urban transport models

Надирян С.Л., **Изюмский А.А.**, **Гонтарук А.В.**
Анализ аварийности с участием средств индивидуальной мобильности 66

Nadiryan S.L., **Izyumsky A.A.**, **Gontaruk A.V.**
Analysis of accident rates involving means of individual mobility

Надирян С.Л., **Изюмский А.А.**, **Гонтарук А.В.**
Анализ рынка и перспектив внедрения систем управления транспортом (TMS) в России и Краснодарском крае 72

Nadiryan S.L., **Izyumsky A.A.**, **Gontaruk A.V.**
Analysis of the market and prospects for the implementation of transport management systems (TMS) in Russia and the Krasnodar territory

Надирян С.Л., **Изюмский А.А.**, **Гонтарук А.В.**
Влияние средств индивидуальной мобильности на безопасность дорожного движения: мировой и российский контекст 77

Nadiryan S.L., **Izyumsky A.A.**, **Gontaruk A.V.**
The impact of individual mobility devices on road safety: global and Russian context

Надирян С.Л., **Котенкова И.Н.**, **Камнев М.О.**
Искусственный интеллект в управлении складскими запасами: методы и примеры внедрения 83

Nadiryan S.L., **Kamnev M.O.**
Artificial intelligence for warehouse inventory management: methods and case studies

Нестеров С.В., Матвеева А.Р.
Экспериментальное определение статической характеристики преобразователя давления 88

Nesterov S.V., **Matveeva A.R.**
Experimental determination of the static characteristic of a pressure transducer

Нестеров С.В., **Плотников М.И.**
Вычислительный комплекс для определения
постоянных времени электропривода постоянного тока
по его экспериментальной пусковой диаграмме угловой скорости 91

Nesterov S.V., **Plotnikov M.I.**
A computational complex for determining
the time constants of a DC electric drive based
on its experimental angular velocity start up diagram

Нестеров С.В., **Клименко Р.М.**
Оценка по экспериментальным данным динамических свойств
сушильной печи как объекта регулирования
температуры кипящего слоя сульфита магния 94

Nesterov S.V., **Klimenko R.M.**
Assessment of the dynamic properties of a drying oven
as an object for regulating the temperature of a fluidized bed
of magnesium sulfite based on experimental data

Нестеров С.В., **Рубцов М.С.**
Оценка динамических свойств двухмассовой
электромеханической системы по расположению полюсов
ее передаточной функции на комплексной плоскости 97

Nesterov S.V., **Rubtsov M.S.**
Assessment of the dynamic properties
of a two mass electromechanical system based on the location
of the poles of its transfer function in the complex plane

Пивень А.В., **Леонова А.Н.**
Сравнительный анализ методов усиления железобетонных балок
горизонтальными затяжками и холстами из углеволокна 100

Piven A.V., **Leonova A.N.**
Comparative analysis of methods for reinforcing reinforced
concrete beams with horizontal ties and carbon fiber canvases

Терехов В.В.
Сравнительный технико-экономический анализ устройств
механической очистки воды систем водоподготовки 103

Terekhov V.V.
Comparative technical and economic analysis of devices
mechanical water purification of water treatment systems

Торосян Э.С., **Касьянов Д.Г.**, **Иночкина Е.В.**
Принципиальные особенности защиты
объектов интеллектуальной собственности 119

Torosyan E.S., **Kasyanov D.G.**, **Inochkina E.V.**
Fundamental features of intellectual property protection

Федотова М.В., **Ефремов Д.С.**, **Усенко Е.А.**, **Вервыкишко С.Н.**
Магнитный метод как способ внутритрубной дефектоскопии 128

Fedotova M.V., **Efremov D.S.**, **Usenko E.A.**, **Verkivyshko S.N.**
The magnetic method as a method of intrusive tube defect detection

Федотова М.В., **Серопьянц Ю.С.**, **Леуцкий Я.Н.**
Ультразвуковая очистка нефтешлама 131

Fedotova M.V., **Seropiants Y.S.**, **Leutsky Y.N.**
Ultrasonic treatment of oil sludge

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

SCIENCES ABOUT THE EARTH

Березовский Д.А.
Выделение перспективных интервалов перфорации
как способ доразработки остаточных извлекаемых запасов
верхнемеловых отложений 137

Berezovskiy D.A.
Identification of promising perforation intervals
as a method for the further development
of remaining recoverable reserves in upper cretaceous deposits

Горпинченко А.Н.
Анализ основных причин возникновения коррозии
скважинного и промыслового оборудования 157

Gorpinchenko A.N.
Analysis of the main causes of corrosion
in downhole and field equipment

Горпинченко А.Н.
Оценка остаточного ресурса для труб
с коррозионными дефектами потери металла
и расчёт напряжений в трубопроводе с использованием ПК ANSYS 167

Gorpinchenko A.N.
Assessment of the remaining service life
of pipes with metal-loss corrosion defects
and stress analysis of the pipeline using ANSYS Software

Петрушин Е.О.
Обоснование применения технологии зарезки
бокового горизонтального стволадля повышения эффективности
разработки объекта ЯК-III-VII нефтегазоконденсатного месторождения 179

Petrushin E.O.
Justification for the use of horizontal sidetracking technology
to improve the development efficiency of the YAK-III-VII reservoir
of the oil and gas condensate field

Степанов Р.И.
Прогноз коэффициента проницаемости по результатам
гидродинамических исследований
Усинского месторождения вязкой нефти 201

Stepanov R.I.
Permeability coefficient prediction based on hydrodynamic studies
of the Usinskoye viscous oil field

Степанов Р.И.
Микробиологические методы увеличения нефтеотдачи рифейской залежи Юрубчено-Тохомского месторождения 204

Stepanov R.I.
Microbiological methods for enhanced oil recovery at the riphean Yurubcheno-Tokhomskoye field

Тихонов Е.В.
Технико-экономические принципы выбора геологических объектов для бурения на депрессии 206

Tikhonov E.V.
Technical and economic principles for selecting geological targets for underbalanced drilling

Тихонов Е.В.
Определение степени насыщения промывочной жидкости инертным газом в зависимости от величины требуемой депрессии и профиля скважины 215

Tikhonov E.V.
Determination of the degree of inert gas saturation of the drilling fluid based on the required pressure drawdown and the well profile

Федотова М.В., **Мананкова М.В.**
Влияние физико-химических свойств нефти на выбор технологии транспорта и хранения 221

Fedotova M.V., **Manankova M.V.**
The influence of the physico-chemical properties of oil on the choice of transport and storage technology

Хамиди А.Р., **Маннанов И.И.**, **Фомина В.М.**, **Андрияшин В.В.**, **Варфоломеев М.А.**
Обоснование применимости импульсного ГРП для разработки низкопроницаемых коллекторов баженовской свиты и доманиковых отложений 224

Khamidi A.R., **Mannanov I.I.**, **Fomina V.M.**, **Andriyashin V.V.**, **Varfolomeev M.A.**
Justification of the applicability of pulse hydraulic fracturing for the development of low-permeability reservoirs in the bazhenov formation and domanik deposits

Шаблий И.И.
Анализ эффективности эксплуатации скважин в условиях формирования аспо и высоковязких эмульсий на скважинах, оборудованных ШСНУ 229

Shabliy I.I.
Analysis of well operation efficiency under conditions of asphaltene-resin-paraffin deposit formation and high-viscosity emulsion generation in wells equipped with sucker-rod pumping units

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
PEDAGOGICAL SCIENCES

Долгушина К.А., **Питкин В.А.**
Роль методов лечебной физической культуры
при посттромбофлебитической болезни нижних конечностей
с сопутствующим артрозо-артритом коленного сустава 249

Dolgushina K.A., **Pitkin V.A.**
The role of therapeutic physical culture methods
in postthrombophlebitic disease of the lower extremities
with concomitant knee osteoarthritis-arthritis

Морозов Г.И., **Питкин В.А.**
Влияние кикскутеринга на академическую успеваемость студентов 252

Morozov G.I., **Pitkin V.A.**
The impact of kick scootering on students' academic performance

Питкин В.А., **Еременко В.Н.**, **Кириловец С.В.**
Искусственный интеллект как личный тренер в спорте:
революция в персональной подготовке 255

Pitkin V.A., **Eremenko V.N.**, **Kirilovets S.V.**
Artificial intelligence as a personal sports coach:
a revolution in personalized training

Питкин В.А., **Степаненко В.Н.**
Лечебная физическая культура при артритах:
основные принципы и практические рекомендации 258

Pitkin V.A., **Stepanenko V.N.**
Therapeutic physical culture in arthritis:
basic principles and practical recommendations

Россомаха И.И., **Питкин В.А.**
Психологические барьеры на занятиях физической культурой
и методы их преодоления через личностно-ориентированный подход 262

Rossomakha I.I., **Pitkin V.A.**
Psychological barriers in physical education classes
and methods of overcoming them through a personality-oriented approach

Трифонова А.С., **Папиашвили Е.Н.**, **Багдасарян Р.Х.**
Навигационный граф и геймификация в библиотеке 267

Trifonova A.S., **Papiashvili E.N.**, **Bagdasaryan R.H.**
Navigation graph and gamification in the library

УДК 374.7 + 37.091.4

ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ ПРОФЕССОРА Г.И. КАСЬЯНОВА

♦♦♦♦♦

ACHIEVEMENTS OF THE SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL SCHOOL OF PROFESSOR G.I. KASYANOV

Шипулин Валентин Иванович
заведующий базовой кафедрой технологии мяса
и мясных продуктов
факультета пищевой инженерии и биотехнологий
имени академика А.Г. Храмцова,
Северо-Кавказский федеральный университет

Аннотация. Молодые люди, выбирающие свой жизненный путь, часто задаются вопросом: «На кого мне равняться?» В этой статье рассматриваются работы и достижения известного кубанского учёного, профессора Г.И. Касьянова. Творческий путь и академические достижения этого учёного и педагога, представленные в статьях его коллег, вызывают чувство глубокого уважения у современников к этой популярной фигуре и выполняют познавательные, эмоциональные и мотивационные функции, вдохновляя молодёжь на его творчество. Профессор Касьянов значительную часть своей жизни посвятил Северо-Кавказскому федеральному университету. В течение пяти лет он возглавлял экзаменационную комиссию по специальности «Технология консервирования пищевых продуктов» и участвовал в работе диссертационного совета под руководством академика Российской академии наук А.Г. Храмцова. Рассматривается новаторская роль Г.И. Касьянова в освоении процесса извлечения ценных компонентов из растительного сырья с использованием инертных сжиженных газов. Результаты его научной работы впечатляют. Он является автором и соавтором более 1500 изобретений, а также опубликовал и является соавтором 2148 научных работ, включая 60 монографий, учебников и учебных пособий. Его индекс Хирша составляет 54. В данной статье представлены основные этапы развития научно-педагогической школы профессора Г.И. Касьянова «Теория и практика переработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами».

Ключевые слова: научно-педагогическая школа, представители научной школы, профессор Г.И. Касьянов, ориентир для творческой молодежи, достижения высоких технологий.

Shipulin Valentin Ivanovich
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

Annotation. Young people choosing their life path often ask themselves, «Who should I emulate?» This article examines the works and achievements of the renowned Kuban scientist, Professor G.I. Kasyanov. The creative path and academic achievements of this scientist and educator, presented in the articles of his colleagues, evoke sympathy among his contemporaries for this popular figure and serve cognitive, emotional, and motivational functions, inspiring young people to follow his creative path. Professor Kasyanov dedicated a significant part of his life to the North Caucasus Federal University. For five years, he chaired the examination committee for the specialty «Food Preservation Technology» and participated in the dissertation council led by Academician A.G. Khramtsov of the Russian Academy of Sciences. This article examines G.I. Kasyanov's pioneering role in developing the process of extracting valuable components from plant materials using inert liquefied gases. The results of his scientific work are impressive. He is the author and co-author of over 1,500 inventions and has published and co-authored 2,148 scientific papers, including 60 monographs, textbooks, and teaching aids. His h-index is 54. This article describes the main stages in the development of Professor G.I. Kasyanov's scientific and pedagogical school, «Theory and Practice of Processing Agricultural Raw Materials with Liquefied and Compressed Gases».

Keywords: scientific and pedagogical school, representatives of the scientific school, Professor G.I. Kasyanov, a benchmark for creative youth, high-tech achievements.

Из известных кубанских ученых особо следует выделить Касьянова Геннадия Ивановича, заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного изобретателя РФ, заслуженного деятеля науки Кубани, почетного работника высшего профессионального образования России, доктора технических наук, профессора, руководителя научно-педагогической школы «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами». Автор более 2 тыс. научных работ и автор (соавтор) 1,5 тыс. изобретений.

С профессором Г.И. Касьяновым меня связывают долгие годы творческой дружбы. Он длительное время возглавлял кафедру Технологии мясных и рыбных продуктов КубГТУ, а я был деканом факультета биотехнологии пищевых продуктов Сев-

КавГТУ (ныне СКФУ), а затем проректором СКФУ по учебной работе. В тот период мы проводили совместные межвузовские мероприятия, научно-практические конференции, семинары и круглые столы. Разрабатывали альтернативные варианты рациональных технологий мясных продуктов нового поколения, с адаптированными пищевыми добавками и CO_2-экстрактами. Принимали участие в подготовке инженерной смены специалистов пищевого профиля и аспирантов. Очень тесные творческие связи были у Г.И. Касьянова с ведущими учеными нашего вуза – академиком РАН А.Г. Храмцовым, член-корр. РАН Евдокимовым И.А., профессорами Бабенышевым С.П., Борисенко А.А., С.А. Рябцевой, А.В. Серовым, доцентами Ю.И. Куликовым, С.И. Постниковым и другими представителями научной школы «Живые системы» СКФУ.



Геннадий Иванович Касьянов –
доктор технических наук, профессор

Г.И. Касьянов как универсальный ученый имеет большой опыт производственной, научной и педагогической деятельности. После окончания Астрыбвтуза работал старшим мастером, начальником цеха Ейского рыбоконсервного завода, заведовал отделом экстракции Краснодарского НИИ пищевой промышленности, доцентом Краснодарского политехнического института, директором Краснодарского филиала ВНИИКОП, заместителем начальника Кореновского РАПО, заведующим отделом технологии консервирования и продуктов детского питания ВНИИКОП. В 1995 году он с семьей возвратился из Москвы в Краснодар, работал заместителем директора КНИИХП и заведующим кафедрой Технологии мясных и рыбных продуктов КубГТУ.

Многие годы Геннадий Иванович работал заведующим, а затем профессором кафедры Технологии продуктов питания животного происхождения КубГТУ. Прослеживается первопроходческая роль Г.И. Касьянова в освоении процесса экстракции растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Впечатляют результаты его научной деятельности. Он автор и соавтор более 1500 изобретений, опубликовал лично и в соавторстве 2148 научных работ, в том числе 60 монографий, учебников и учебных пособий [6, 7], 23 научные статьи опубликованы в базах научного цитирования Scopus и Web of Science; подготовил 48 кандидатов и 6 докторов технических наук. Его Индекс Хирша равен 54. Большую известность он получил как общественный и политический деятель. Примечателен его путь в комсомоле: от комсорга класса, секретаря комитета ВЛКСМ Астрыбвтуза, члена Астраханского обкома комсомола, Первого секретаря Ейского горкома комсомола, – до Секретаря Краснодарского крайкома ВЛКСМ.

Геннадий Иванович в российском инженерном образовательном сообществе известен как руководитель научно-педагогической школы «Научные основы и практическая апробация обработки сырья растительного и животного происхождения сжиженными и сжатыми газами», член «Совета Старейшин» Российской инженерной академии, зам. главного редактора журнала «Наука. Техника. Технологии» (политехнический вестник), г. Краснодар, член редакционного совета журнала Journal of Agriculture and Environment (г. Екатеринбург), член редакционной коллегии журнала «Инновации и инвестиции» (г. Москва); лауреат премии администрации Краснодарского края в обла-

сти науки, образования и культуры за цикл учебников по технологии продуктов детского питания.

Профессор Г.И. Касьянов награжден медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда», орденом «Инженерная слава» за выдающиеся заслуги перед Российской инженерной академией», нагрудным знаком ЦК ВЛКСМ «За активную работу в комсомоле», медалью «Золотые имена высшей школы», дипломами Технологической платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания», почетными грамотами Администрации и Законодательного собрания Краснодарского края.

Его увлечение наукой реально проявляется не как хобби, а как осознанная ответственность за рациональное использование времени, отведенного судьбой каждому человеку на Земле, о чем свидетельствуют направления и глубина реализованных научно-педагогической школой профессора Г.И. Касьянова проектов.

Таблица 1 – Основные достижения научно-педагогической школы профессора Г.И. Касьянова

Наименование выполненного проекта и базовые источники литературы	Формулировка проблемы и основное содержание
1	2
Создание научно-педагогической школы по обработке сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами [2, 10, 18)]. Началом отсчета создания Школы служит издание первой монографии: Касьянов, Геннадий Иванович. Натуральные пищевые ароматизаторы – CO_2-экстракты / Г.И. Касьянов, А.В. Пехов, А.А. Таран. – М. : Пищевая промышленность, 1978. – 176 с.	Для координации работ в области создания натуральных пищевых добавок создана единственная в стране научно-педагогическая школа по извлечению ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Её ядро – технологии с применением диоксида углерода (CO_2) в разных фазовых состояниях
Научный руководитель Школы – профессор Касьянов Геннадий Иванович. Он автор более 2 тыс. научных работ, 1,5 тыс. изобретений, 60 монографий, учебников и учебных пособий, подготовил 48 кандидатов и 6 докторов технических наук. Его индекс Хирша – 54 (на начало 2026 года) [2, 18]	В 1994 году он защитил докторскую диссертацию в Россельхозакадемии на тему «Технология CO_2-обработки растительного сырья: теория и практика». Им установлены закономерности извлечения нанокомплексов из растительного сырья при изменении фазовых состояний CO_2 – это важно для получения чистых экстрактов пряностей, масел и биологически активных веществ
Ученые и специалисты вузов и НИИ Северо-Кавказского и Южного Федеральных округов, входящие в состав научно-педагогической школы по обработке сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами, выполнили ряд проектов и грантов по перспективным направлениям науки и техники [8, 10, 11, 22–24]. К числу достижений представителей научной школы относится теория и практика обезвоживания агропищевого сырья электромагнитным полем низкой и сверхвысокой частоты, холодной аргоновой плазмы, потоком сверхкритических газов, а также комплекс исследований по газожидкостной экстракции, получение легкой воды с пониженным содержанием дейтерия	Профессора – М.Э. Ахмедов, А.А. Запорожский, С.В. Золотокопова, Е.Е. Иванова, В.А. Карамзин, Р.С. Решетова, М.Ю. Тамова, В.Е. Тарасов, И.И. Татарченко, В.И. Шипулин. Доценты и с.н.с. – Бакр Ашраф Шабан, С.В. Белоусова, Е.И. Важенин, Д.Е. Занин, Л.В. Зотова, Ибрагим Камиль, Е.В. Иночкина, О.И. Квасенков, В.С. Коробицын, О.В. Косенко, Е.Г. Кубенко, Р.Г. Кулиева, А.М. Медведев, О.Н. Стасьева, З.А. Яралиева. И безвременно ушедшие из жизни профессора и специалисты Д.С. Джаруллаев, Г.М. Зайко, Н.Н. Латин, Б.И. Леончик, В.А. Ломачинский, Е.Я. Мегердичев, Ю.Ф. Мишанин, А.В. Пехов, А.А. Таран, Ю.А. Фатыхов, В.Т. Христюк
Разработка теории конструирования специализированных продуктов питания, обогащенных антиоксидантами, криопротекторами, иммуномодуляторами, геропротекторами [3, 4, 6, 14]	Под руководством ученых Школы создана теория и методология конструирования геродиетических, детских продуктов и спортивного питания, с применением нутрициологии, квалиметрии и пищевой комбинаторики. В том числе предложены корректирующие технологии мясо и рыборастительных продуктов для этих групп

Окончание таблицы 1

1	2
Применение низкочастотных электромагнитных полей низкой и крайне низкой частоты для биомодификации растительного и животного сырья [5, 7, 19]	Под руководством ученых Школы исследован механизм воздействия НЧ ЭМП на мясное и иное сырьё. Установлен резонансный эффект при частотах 18–80 Гц: такая обработка ускоряет созревание мяса, влияет на содержание связанной влаги и служит барьером против микробиологической порчи
Оптимизация рецептур с помощью нейросетевых алгоритмов [12, 21, 22, 24], помогающих находить оптимальные сочетания компонентов, с учетом вкусовых экономических и экологических параметров	Разработана методика многокритериальной оптимизации состава продуктов (баланс белков, витаминов, минералов, органолептика и т.д.) с применением нейросетей, как современного подхода к проектированию специализированных продуктов питания
Цикл исследований по правовым аспектам изобретательской деятельности в пищевой промышленности [15–17, 20]	Общее количество объектов интеллектуальной собственности, зарегистрированных участниками научно-педагогической школы, превышает 2 тыс. патентов на изобретения, полезные модели и промышленные образцы

Представленные материалы свидетельствуют о результативности и многообразии достижений научно-педагогической школы. Значительный объем разработок относится к совершенствованию техники и технологии использованию диоксида углерода в суб- и сверхкритическом состоянии в качестве экстрагентов БАВ из сырья растительного и животного происхождения [8, 9], расширению ассортимента экстрагентов за счет углеводородных газов – бутана, диметилового эфира и пропана [1, 13].

Если вернуться к личности руководителя научно-педагогической школы, то следует отметить многогранность его трудовой деятельности. Вот его опыт работы: Старший мастер, начальник цеха Ейского рыбоконсервного завода, зав. отделом экстракции Краснодарского НИИ пищевой промышленности, доцент Краснодарского политехнического института, директор Краснодарского филиала ВНИИКОП, зам. Начальника Кореновского РАПО, зав. отделом технологии консервирования и продуктов детского питания ВНИИКОП, зам. директора КНИИХП, зав. кафедрой технологии мясных и рыбных продуктов КубГТУ, профессор КубГТУ.

Область научных интересов: научные специальности 4.3.3 «Пищевые системы», 4.3.5. «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ», технология консервирования плодов, овощей, мяса, рыбы и молока, экстракция ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами, применение ЭМП НЧ в пищевой промышленности, получение и применение «легкой» воды с пониженным содержанием дейтерия. Профиль: Биотехнологические, электрофизические и газожидкостные приемы переработки мясного, молочного, рыбного, пряно-ароматического, виноградного и плодоовощного сырья; инновационная технология производства продуктов детского, геродиетического и спортивного питания.

Общественная деятельность: Руководитель научно педагогической школы «Научные основы и практическая апробация обработки сырья растительного и животного происхождения сжиженными и сжатыми газами», академик, Член «Совета Старейшин» Российской инженерной академии, зам. редактора журнала «Наука. Техника. Технологии» (политехнический вестник) – г. Краснодар, член редакционного совета журнала Journal of Agriculture and Environment (г. Екатеринбург), член редакционной коллегии журнала «Инновации и инвестиции (г. Москва). Лауреат премии администрации Краснодарского края в области науки, образования и культуры за цикл учебников по технологии продуктов детского питания.

Применение научных критериев для описания научно-педагогической школы профессора Г.И. Касьянова позволяет охарактеризовать её особенности. На наш взгляд, ей присущи признаки как научной, так и научно-педагогической школы, о чем свидетельствуют качественные и количественные показатели по всем выявленным критериям.

Литература

1. Золотокопов А.В. Достижения в области экстракции ценных компонентов из растительного сырья сжиженными углеводородными газами / А.В. Золотокопов, Г.И. Касьянов, А.М. Медведев // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 67–73.
2. Золотокопова С.В. К юбилею старейшего выпускника Астрыбвтуза – Касьянова Геннадия Ивановича // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2024. – № 3. – С. 124–126.
3. Безотходные и малоотходные технологии в экономике замкнутого цикла рыбоперерабатывающих производств / С.В. Золотокопова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 47–56.
4. Золотокопова С.В. Технологические приемы создания специализированных продуктов питания геродиетического назначения / А.В. Золотокопов, Г.И. Касьянов, А.М. Медведев // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 57–66.
5. Применение электромагнитного поля низкой частоты в технологии пищевых производств» / Г.И. Касьянов [и др.]. – Краснодар : Издательство КубГТУ, 2018. – 311 с.
6. Проектирование и строительство винодельческих предприятий с основами планирования и технологии отрасли : учебник для вузов / Г.И. Касьянов [и др.]. – М. : Издательство Юрайт, 2025. – 430 с.
7. Касьянов Г.И. Перспективы обработки пищевого сырья электромагнитным полем низкой частоты // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 1(337). – С. 35–38.
8. Касьянов Г.И. Техника и технология использования диоксида углерода в суб и сверхкритическом состоянии // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2014. – № 1(59). – С. 130–135.
9. Касьянов Г.И. Технология CO_2-обработки растительного сырья (теория и практика) : автореферат дис. … на соискание ученой степени д-ра техн. наук в виде науч. докл.: Специальность 05.18.13 Технология консервирования / Г.И. Касьянов; Россельхозакадемия. – 1994. – 48 с.
10. Касьянов Г.И. Эффективность научной школы по газожидкостным технологиям // В сборнике: Современные научные исследования и инновации в области применения суб-и сверхкритических технологий. Сборник материалов Международной научно-технической. – 2014. – С. 12–14.
11. Касьянов Г.И. Технология рыбоовощных продуктов / Г.И. Касьянов, О.В. Косенко, Е.И. Важенин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – 128 с.
12. Технология виноделия. Учебник для вузов для студентов, обучающихся по аграрным направлениям / Г.И. Касьянов [и др.]. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 200 с.
13. Касьянов Г.И. Сжиженные углеводородные газы как экстрагенты БАВ / Г.И. Касьянов, А. Фанди // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 1. – С. 37–44.
14. Научное обоснование роли стейков сухого созревания из говядины и свинины в структуре современного питания человека: биохимические, микробиологические и нутрициологические аспекты / Н.П. Оботурова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 121–127.
15. Патент на изобретение RU 2864805. Способ получения безалкогольных напитков на основе мякоти хурмы / Э.С. Торосян, А.П. Клечкина, Г.И. Касьянов, Д.Г. Касьянов. Заявка № 2025121837, заявлен 07.08.2025, опубликован 29.06.2026.
16. Патент на промышленный образец RU 149584. Схема «Экструзионный способ промышленного изготовления комбинированных снеков» / А.М. Медведев, Г.И. Касьянов, Н.Б. Савицкий, Е.В. Шейкина. Заявка № 2025501047, заявлен 26.02.2025, опубликован 09.10.2025.
17. Патент на промышленный образец RU 149947. Схема «Технологические узлы подготовки и переработки орехового и зернового сырья на CO_2-экстракты и CO_2-шроты» / Г.И. Касьянов, В.Н. Савин, К.К. Филиппов, Е.В. Шейкина. Заявка № 2025502008, заявлен 09.04.2025, опубликован 06.11.2025.
18. Росляков Ю.Ф. Ведущий российский ученый в области обработки пищевого сырья сжиженными и сжатыми газами (к юбилею Геннадия Ивановича Касьянова) // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2024. – № 5–6. – С. 155–157.
19. Сайт профессора Г.И. Касьянова. – URL : krkgi.ru; http://krkgi.ru
20. Торосян Э.С. Правовые аспекты изобретательской деятельности в пищевой промышленности / Э.С. Торосян, Г.И. Касьянов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 1. – С. 111–118.
21. Шейкина Е.В. Инновационные мясорастительные производства: архитектурно-технологические решения / Е.В. Шейкина, Г.И. Касьянов. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2026. – 170 с.

22. Шипулин В.И. Конструирование пищевых продуктов, обогащенных фруктами и орехами / В.И. Шипулин, Г.И. Касьянов, Л.В. Зотова // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № (4). – С. 51–62.
23. Шипулин В.И. Основы проектирования качества продуктов из агропищевого сырья / В.И. Шипулин, Д.Г. Касьянов, Э.С. Торосян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 1. – С. 147–155.
24. Изучение возможности иодирования продуктов питания из мяса птицы / В.И. Шипулин [и др.]; Под редакцией И.А. Евдокимова, А.Д. Лодыгина // В сборнике: Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Ставрополь, 2021. – С. 357–360.

References

1. Zolotokopov A.V. Achievements in the Field of Extraction of Valuable Components from Plant Raw Materials with Liquefied Hydrocarbon Gases / A.V. Zolotokopov, G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 67–73.
2. Zolotokopova S.V. On the Anniversary of the Oldest Graduate of Astrakhan State Technical University – Gennady Ivanovich Kasyanov // Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. – 2024. – № 3. – P. 124–126.
3. Waste-free and low-waste technologies in the closed-loop economy of fish processing industries / S.V. Zolotokopowa [et al.] // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 47–56.
4. Zolotokopowa S.V. Technological methods for creating specialized food products for gerodietetic purposes / A.V. Zolotokopowa, G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 57–66.
5. Application of low-frequency electromagnetic field in food production technology / G.I. Kasyanov [et al.]. – Krasnodar : KubSTU Publishing House, 2018. – 311 p.
6. Design and Construction of Winemaking Enterprises with the Basics of Planning and Industry Technology : textbook for universities / G.I. Kasyanov [et al.]. – M. : Yurait Publishing House, 2025. – 430 p.
7. Kasyanov G.I. Prospects for Processing Food Raw Materials with a Low-Frequency Electromagnetic Field // Bulletin of Higher Educational Institutions. Food Technology. – 2014. – № 1(337). – P. 35–38.
8. Kasyanov G.I. Equipment and Technology for Using Carbon Dioxide in Sub- and Supercritical States // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2014. – № 1 (59). – P. 130–135.
9. Kasyanov G.I. Technology of CO_2 processing of plant raw materials (theory and practice) : abstract of dis. … for the degree of Doctor of Technical Sciences in the form of a scientific report: Specialty 05.18.13 Canning technology / G.I. Kasyanov; Russian Academy of Agricultural Sciences. – 1994. – 48 p.
10. Kasyanov G.I. Efficiency of the scientific school on gas-liquid technologies // In the collection: Modern scientific research and innovations in the field of application of sub- and supercritical technologies. Collection of materials of the International scientific and technical. – 2014. – P. 12–14.
11. Kasyanov G.I. Technology of fish and vegetable products / G.I. Kasyanov, O.V. Kosenko, E.I. Vazhenin. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2014. – 128 p.
12. Winemaking Technology. Textbook for Universities for Students Studying in Agricultural Fields / G.I. Kasyanov [et al.]. – Moscow: Yurait Publishing House, 2025. – 200 p.
13. Kasyanov G.I. Liquefied Hydrocarbon Gases as Extractants for Biologically Active Substances / G.I. Kasyanov, A. Fandi // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2026. – № 1. – P. 37–44.
14. Scientific Substantiation of the Role of Dry-Aged Beef and Pork Steaks in the Structure of Modern Human Nutrition: Biochemical, Microbiological, and Nutritional Aspects / N.P. Oboturova [et al.] // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 121–127.
15. Invention Patent RU 2864805. Method for Producing Soft Drinks Based on Persimmon Pulp / E.S. Torosyan, A.P. Klechkina, G.I. Kasyanov, D.G. Kasyanov. Application No. 2025121837, filed on August 7, 2025, published on June 29, 2026.
16. Industrial Design Patent RU 149584. Scheme «Extrusion Method for Industrial Production of Combined Snacks» / A.M. Medvedev, G.I. Kasyanov, N.B. Savitsky, E.V. Sheykina. Application № 2025501047, filed on February 26, 2025, published on October 9, 2025.

17. Industrial design patent RU 149947. Scheme «Technological units for the preparation and processing of nut and grain raw materials into CO_2 extracts and CO_2 meals» / G.I. Kasyanov, V.N. Savin, K.K. Filippov, E.V. Sheykina. Application № 2025502008, filed 09.04.2025, published 06.11.2025.
18. Roslyakov Yu.F. Leading Russian scientist in the field of processing food raw materials with liquefied and compressed gases (on the anniversary of Gennady Ivanovich Kasyanov) // News of higher educational institutions. Food technology. – 2024. – № 5–6. – P. 155–157.
19. Website of Professor G.I. Kasyanov. – URL : krkgi.ru; http://krkgi.ru
20. Torosyan E.S. Legal aspects of inventive activity in the food industry / E.S. Torosyan, G.I. Kasyanov // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 1. – P. 111–118.
21. Sheykina E.V. Innovative meat and plant production: architectural and technological solutions / E.V. Sheykina, G.I. Kasyanov. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2026. – 170 p.
22. Shipulin V.I. Design of food products enriched with fruits and nuts / V.I. Shipulin, G.I. Kasyanov, L.V. Zotova // Bulletin of the North Caucasus Federal University. – 2017. – № (4). – P. 51–62.
23. Shipulin V.I. Fundamentals of designing the quality of products from agro-food raw materials / V.I. Shipulin, D.G. Kasyanov, E.S. Torosyan // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 1. – P. 147–155.
24. Study of the possibility of iodization of food products from poultry meat / V.I. Shipulin [et al.]; Edited by I.A. Evdokimov, A.D. Lodygin // In the collection: Modern achievements of biotechnology. Global challenges and current problems of processing and use of secondary raw materials of the agro-industrial complex of Russia. Proceedings of the VIII International scientific and practical conference. – Stavropol, 2021. – P. 357–360.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

•••••••

TECHNICAL SCIENCES

УДК 665.6

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И СВОЙСТВ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

♦♦♦♦♦

CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF ATMOSPHERIC EMISSIONS FROM OIL REFINERIES

Багишян Луиза Спартаковна
студентка бакалавриата,
Кубанский государственный технологический университет
listcom94@icloud.com

Абу-Аси Диана Магер
студентка бакалавриата,
Кубанский государственный технологический университет
dianaabuasi@yandex.ru

Федотова Марина Владимировна
старший преподаватель
кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
Starodub.m@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена анализу состава и источников выбросов НПЗ, методы их контроля и влияние на экологию. Рассмотрены пути снижения загрязнения.

Ключевые слова: выбросы, НПЗ, мониторинг, экология.

Bagishyan Luiza Spartakovna
Undergraduate Student,
Kuban State Technological University
listcom94@icloud.com

Abu-Asi Diana Mager
Undergraduate Student,
Kuban State Technological University
dianaabuasi@yandex.ru

Fedotova Marina Vladimirovna
Senior Lecturer of the Department
of Oil and Gas Technology
Kuban State Technological University
Starodub.m@mail.ru

Annotation. This article analyzes the composition and sources of oil refinery emissions, their monitoring methods, and their impact on the environment. Possible ways to reduce pollution are also discussed.

Keywords: emissions, oil refineries, monitoring, ecology.

Нефтеперерабатывающие заводы являются ключевыми объектами энергетики, но их выбросы представляют собой сложные многокомпонентные смеси, негативно влияющие на окружающую среду». Остальное – общие слова, которые можно опустить.

Источники загрязнения атмосферы на НПЗ многочисленны и разнообразны. Их можно классифицировать на организованные (стационарные) и неорганизованные.

Организованные источники выбросов – выход ЗВ осуществляется посредством специальных технических устройств организованным способом (через трубы, отверстия, факельные устройства, установки очистки газа, газоходы и пр.);

Неорганизованные источники выбросов – выход ЗВ идёт ненаправленнымпотоком выброса, т.е. неорганизованно (через окна, двери, от открытых стоянок транспорта, мест выгрузки/хранения материалов и пр.) [5].

Ключевыми стационарными источниками являются трубчатые технологические печи, используемые для нагрева сырья, например, нефти или мазута в процессах первичной перегонки. На примере Туапсинского НПЗ можно выделить современные установки типа ЭЛОУ-АВТ, оснащённые радиально-конвективными печами, например, модели Н-1001, Н-2001, которые являются одним из главных источников газовых выбросов [1, 2]. Также значительный вклад вносят дымовые трубы теплоэлектроцентралей, обеспечивающие предприятие энергией.

К категории неорганизованных источников потерь относятся испарения нефтепродуктов из резервуаров хранения, газовыделения через неплотность технологической аппаратуры и коммуникаций, аварийные выбросы, а также выбросы от факелов и систем вентиляции.

Качественный и количественный состав выбросов напрямую зависит от типа перерабатываемой нефти (сернистая, парафинистая и др.) и особенностей технологи-

ческих процессов. Среди загрязняющих веществ выделяются неорганические соединения (CO, SO_2, H_2S, оксиды азота) и органические (углеводороды, включая бензол) [2]. Ранее для оценки часто использовался обобщённый показатель «сумма углеводородов», не учитывавший различную токсичность отдельных компонентов.

Для получения достоверной информации о структуре и уровне загрязнения необходим комплексный подход к мониторингу. Он включает продуманную схему отбора проб (например, на постах вблизи завода, в жилой зоне и на фоновой территории) и применение современных аналитических методов [2]. При исследовании выбросов непосредственно от технологических печей, например на Туапсинском НПЗ, используется инструментальный контроль с помощью газоанализаторов, позволяющий в режиме, близком к непрерывному, определять концентрации O_2, CO, CO_2 и оптимизировать процесс горения для снижения выбросов [1]. Для анализа сложных смесей углеводородов в атмосферном воздухе жилых районов успешно применяется газовая хроматография, позволяющая идентифицировать и количественно определять индивидуальные вещества, такие как этилен и пропилен.

Данные многолетних наблюдений свидетельствуют о стабильном превышении предельно допустимых концентраций ряда загрязнителей в зоне влияния НПЗ. Концентрации вредных веществ закономерно снижаются с удалением от источника, но остаются повышенными даже на значительном расстоянии. Регистрируются высокие уровни по «сумме углеводородов», оксиду углерода, диоксиду серы, сероводороду, а также по отдельным олефинам [2].

Гигиеническая оценка показывает, что в более чем половине всех отобранных проб содержание хотя бы одного вредного вещества превышает ПДК. Обнаруженные концентрации способны оказывать негативное физиологическое воздействие: сероводород-раздражать рецепторы и влиять на рефлекторные функции, диоксид серы-изменять ритм дыхания. Особую опасность представляют органические соединения: даже при подпороговых концентрациях отдельных олефинов их совместное присутствие создает эффект суммации, что может негативно сказываться на состоянии нервной системы и общей резистентности организма. Медико-статистические данные указывают на достоверно более высокий уровень заболеваемости органов дыхания среди детского населения в зоне влияния выбросов, а также на снижение иммунобиологической реактивности.

Проведённый анализ подтверждает, что атмосферные выбросы НПЗ формируют стабильный источник комплексного химического загрязнения. Даже при соблюдении нормативов по отдельным показателям сохраняется риск комбинированного воздействия многочисленных веществ, что представляет серьёзную угрозу для здоровья населения, особенно уязвимых групп.

Для коренного улучшения ситуации необходим системный подход, включающий:

1) предварительную очистку сырья от серы;

2) повышение герметичности оборудования и минимизацию неорганизованных выбросов;

3) внедрение эффективных систем газоочистки и утилизации попутных газов вместо их факельного сжигания;

4) автоматизацию процессов горения и контроля выбросов;

5) совершенствование мониторинга с переходом от контроля общих параметров к обязательному определению специфических опасных веществ (бензол, олефины) с использованием высокоточных методов, таких как газовая хроматография.

Аналитическое обеспечение контроля выбросов нефтеперерабатывающих предприятий требует применения высокоселективных и чувствительных методов, позволяющих определять следовые количества специфических загрязнителей в сложных матрицах. Ключевым методом для решения этой задачи является газовая хроматография (ГХ), часто в комбинации с различными детекторами (рис. 1).

Для определения лёгких углеводородов (C1-C5), включая метан, этан, этилен, пропан, пропилен и бутилены, наиболее эффективно используется хроматография с

пламенно-ионизационным детектором (ПИД), обладающим высокой чувствительностью к органическим соединениям. Однако для анализа серусодержащих компонентов выбросов, таких как сероводород (H_2S), метил-и этилмеркаптаны, диметилсульфид и сероокись углерода (COS), требуется применение более селективных детекторов. В этом случае оптимальным выбором является хроматография с пламенно-фотометрическим детектором (ПФД), избирательно реагирующим на соединения серы, или с атомно-эмиссионным детектором (АЭД). Для определения постоянных газов (O_2, N_2, CO, CO_2) и легких углеводородов в одном анализе может применяться метод с использованием двух детекторов – термохимического (для CO и CO_2) и ПИД (для углеводородов)-двумя параллельными колонками. Этот подход позволяет проводить комплексный анализ технологических и факельных газов, что критически важно для оценки эффективности работы установок и полноты сжигания.

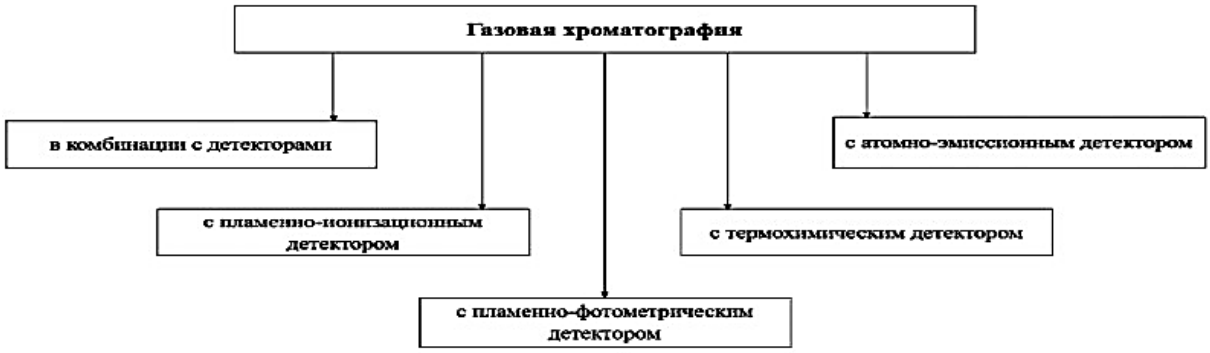

Рисунок 1 – Виды ГХ с детекторами

Точный мониторинг состава атмосферных выбросов является ключевой практической мерой для внедрения принципов промышленной экологии на нефтеперерабатывающих заводах. Согласно современной концепции, основой этой дисциплины является переход от традиционной, расточительной модели к безотходному или чистому производству. Задача такого анализа-не просто соблюдение нормативов, а реализация фундаментального принципа: рационального использования ресурсов и предотвращения загрязнения [с. 2, 3]. Контроль за каждым загрязнителем, от сероводорода до индивидуальных углеводородов, позволяет минимизировать образование токсичных отходов и приблизиться к идеалу максимально возможной цикличности материальных потоков [с. 5, 6].

Проведенный анализ наглядно демонстрирует, что проблема выбросов НПЗ остается сложной, но решаемой при системном подходе

Литература

1. Зайцев В.А. Промышленная экология : учеб. пособие. – 2012. – 512 с. ISBN 978-5-9963-0812-5
2. Инвентаризация источников загрязнения атмосферного воздуха западноказахстанского региона / С.Т. Губашева [и др.] // Инновации, инвестиции, техника и технологии. – 2021. – С. 63–66.
3. Гадаборшева Т.Б. Классификация источников выделения вредных веществ промышленными предприятиями на примере ОАО «Себряковцемент» / Т.Б. Гадаборшева, И.В. Марков // Естественные и технические науки. – 2014. – С. 1–3.
4. Анализ атмосферного воздуха в выбросах технологической печи нефтеперерабатывающего завода г. Туапсе / Я.А. Горева [и др.]. – 2017. – С. 2–7.
5. Чем отличается организованный ИЗАВ от неорганизованного? // Ваш эколог: [сайт]. – 2023. – 23 окт. – URL : https://vashecolog.ru/2023/10/23/chem-otlichaetsja-organizovannyj-izav-ot-neorganizovannogo (дата обращения 02.12.2025).

References

1. Zaitsev V.A. Industrial Ecology : textbook. – 2012. – 512 p. ISBN 978-5-9963-0812-5
2. Inventory of air pollution sources in the West Kazakhstan region / S.T. Gubasheva [et al.] // Innovations, investments, engineering and technology. – 2021. – P. 63–66.
3. Gadaborsheva T.B. Classification of sources of harmful substance emissions by industrial enterprises using the example of Sebryakovcement OJSC / T.B. Gadaborsheva, I.V. Markov // Natural and technical sciences. – 2014. – P. 1–3.
4. Analysis of atmospheric air in emissions from the process furnace of the Tuapse oil refinery / Ya.A. Goreva [et al.]. – 2017. – P. 2–7.
5. What is the difference between an organized and an unorganized IZAV? // Your Ecologist: [website]. – 2023. – October 23. – URL : https://vashecolog.ru/2023/10/23/chem-otlichaetsja-organizovannyj-izav-ot-neorganizovannogo (date of application 02.12.2025).

УДК 613.2:613.5

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КАЧЕСТВА КОМБИНИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ РЫБНОГО СЫРЬЯ

♦♦♦♦♦

NEW APPROACHES TO QUALITY FORMATION IN COMBINED FOOD SYSTEMS BASED ON FISH RAW MATERIAL

Золотокопов Андрей Владимирович
аспирант,
Астраханский государственный технический университет

Касьянов Геннадий Иванович
доктор технических наук,
профессор,
Российская инженерная академия

Аннотация. В статье представлен обзор опубликованных методов оценки качества комбинированных рыборастительных изделий. Приводится описание исторических параллелей формирования качества продуктов питания на базе рыбного сырья. Описаны новые подходы к повышению качества пищевых систем на базе животного и растительного сырья в понимании специалистов ВНИРО, Астраханского, Воронежского и Кубанского университетов пищевого профиля. Приводится описание вклада научных школ в создание функциональных продуктов на рыбной основе. Особое внимание уделено различным аспектам выращивания рыб в открытых водоемах и в условиях замкнутого водоснабжения. Подчеркнут важный фактор развития аквакультуры за счет создания сбалансированных по аминокислотному составу комбикормов для рыб. Повышению эффективности переработки рыбного сырья во многом способствуют современные способы использования вторичного рыбного сырья – кожи, костей, плавников, чешуи, ферментов внутренностей. Сформулированы требования к рыбному и растительному сырью, предназначенному для конструирования продуктов функционального назначения.

Ключевые слова: выращивание рыб, корма для рыб, качество сырья, научные рыбохозяйственные школы. перспективы рыбной отрасли.

Zolotokopov Andrey Vladimirovich
Postgraduate Student,
Astrakhan State Technical University

Kasyanov Gennady Ivanovich
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Russian Engineering Academy

Annotation. The article provides an overview of published methods for assessing the quality of combined fish-and-plant products. It describes historical parallels in the development of food quality based on fish raw material. New approaches to improving the quality of food systems based on animal and plant raw materials are outlined, reflecting the views of specialists from VNIRO and the Astrakhan, Voronezh, and Kuban universities specializing in food technologies. The contribution of scientific schools to the development of functional products based on fish is described in detail. Particular attention is paid to various aspects of fish farming in open water bodies and in closed water supply systems. An important factor in the development of aquaculture is highlighted: the creation of compound feeds for fish that are balanced in terms of amino acid composition. The efficiency of fish raw material processing is significantly enhanced by modern methods of utilizing secondary fish raw materials-such as skin, bones, fins, scales, and enzymes from internal organs. Requirements are formulated for fish and plant raw materials intended for the design of functional food products.

Keywords: fish farming, fish feeds, raw material quality, scientific fisheries schools, prospects for the fish industry.

Исторические параллели сохранения качества добываемого рыбного сырья в десятилетний временной период

С незапамятных времен люди стремились сохранить качество выловленной рыбы, используя озерный лед, варку, посол, жарение и сушку.

Сочетание животного и растительного сырья в едином продукте изначально решало две взаимосвязанные задачи: рационализацию сырьевых потоков в и повышение пищевой ценности конечного продукта. Российские рыбохозяйственные центры внесли существенный вклад в становление этого направления. Работы ВНИРО сформировали методологическую базу для создания сбалансированных рыборастительных систем, обеспечивающих рост эффективности производства. Сотрудники ВНИРО проанализировали особенности добычи сардины в дальневосточных водах [2]. Такой обзор включает период с 2015 по 2025 гг. и позволяет оценить количество и качество добываемой рыбы в десятилетний временной период.

Обобщен исторический и современный опыт астраханских специалистов по искусственному выращиванию севрюги в Волго-Каспийском регионе [5]. Благодаря достижениям в области ихтиологии и биотехнологии выращивания, удалось повысить численность краснокнижных рыб осетровых пород. Севрюга издавна считалась «царской рыбой», мясо которой обладала нежным вкусом, плотной и сочной структурой и пользовалась высоким спросом в стране и за рубежом.

Журнал «Рыбное хозяйство» уделяет внимание обоснованию сроков хранения рыбных продуктов [6]. Официальные требования к определению сроков годности продуктов изложены в документе ПНСТ-826-2023 [23].

Комплексная переработка первичного и вторичного рыбного сырья входит в состав системы экономики замкнутого цикла [10]. Рыбоводные установки замкнутого цикла должны учитывать гидробиоценоз биофильтров для используемой воды [27].

В АГТУ и КубГТУ разработаны технологии специализированных продуктов питания на рыбной основе [12]. При конструировании рецептур таких продуктов учитывали дефицит углеводов, водорастворимых витаминов, органических кислот и флавоноидов в мышечных тканях рыбы и обогащали продукт специально отобранным растительным сырьем.

Представляет интерес сравнить стандарты на пищевые рыбные продукты за более длительный период [19]. Эту работу выполнили специалисты Технического комитета по стандартизации, который является ключевой площадкой для разработки новых стандартов в рыбной отрасли. Его деятельность распространяется не только на национальные предприятия, но и на межгосударственные (МТК 300) и международные. Головная организация Комитета – ВНИРО, обеспечивает научное обоснование документов.

В Трудах ВНИРО опубликована динамика спроса потребителей на рыбные и рыборастительные продукты [20]. В основу оценки положено экономическое состояние покупателей продукции в различных регионах страны. В Вестнике АГТУ приведены сведения по особенностям выращивания клариевого сома [24]. Быстрорастущий африканский сомик считается важным объектом аквакультуры благодаря своей неприхотливости к составу кормов и высокому качеству мяса мышечной ткани, способностью выдерживать неблагоприятные факторы и плотность посадки.

Выращивание судака в условиях аквакультуры требует изучения его морфологических характеристик [25]. Судак относится к ценным промысловым рыбам, содержит нежирное диетическое мясо с полным набором незаменимых аминокислот.

Возможности беспилотной авиации позволяют осуществлять оперативный контроль размещения и эксплуатации рыбоводных установок открытого и закрытого циклов [30]. Дистанционный контроль состояния водоемов с рыбой, расположенных на больших территориях, способствует снижению нагрузки на обслуживающий персонал и получению оперативной информации о плотности посадки и размерах рыб в резервуарах.

Ключевые приоритеты современной науки в этой области можно сформулировать так: проектирование рецептур на основе синергии рыбного и растительного сырья; внедрение инновационных методов обработки (электромагнитные поля, газожидкостные процессы); утилизация вторичных ресурсов для снижения отходов; разработка функциональных продуктов с повышенной биологической ценностью.

Научные школы и концептуальные основы проектирования рыборастительных систем

Формирование теоретических основ создания комбинированных пищевых продуктов – результат многолетней работы нескольких поколений исследователей. Существенный вклад внесли учёные из Астрахани (В.В. Баль, А.П. Черногорцев, И.А. Палагина, С.А. Мижуева, М.Е. Цибизова и др.), Калининграда (В.И. Шендерюк, Ю.А. Фатыхов, О.Я Мезенова, В.А. Гроховский и др.), Краснодара (Е.Е. Иванова, Г.И. Касьянов, Ю.Ф. Мишанин и др.), Москвы (Л.С. Абрамова, А.А. Кочеткова, О.И. Кутина и др.), Мурманска (А.М. Ершов, В.А. Гроховский, Л.К. Куранова и др.), Воронежа (Л.В. Антипова, И.А. Глотова, О.П. Дворянинова и др.), а также специалисты Дальневосточного госу-

дарственного технического рыбохозяйственного университета (С.Н. Максимова, В.В. Кращенко, Е.Г. Тимчук и др.).

Работы Л.В. Антиповой и О.П. Дворяниновой систематизировали опыт рационального использования мяса прудовых рыб для пастообразных продуктов [1, 4]. В этих исследованиях предложены модернизированные рецептуры: мясорыбные котлеты, паштеты, рыбные консервы. Особое внимание уделено комплексному анализу свойств продуктов, полученных из первичных и вторичных продуктов разделки прудовых рыб, – с точки зрения технологии, качества и потребительских характеристик.

Под руководством М.Е. Цибизовой была создана технология экологически безопасных рыборастительных хлебцев [8]. Для повышения функциональной ценности в их состав вводили CO_2-экстракты и CO_2-шрот пряных растений, а также концентраты копчёностей, придающие продукту антиоксидантные свойства. В отдельной публикации (реферируемый журнал) раскрыты особенности разработанных рыборастительных фаршей [11]. Так, в фарш из тиляпии добавляли крупяное и овощное сырьё, что позволило обогатить продукт углеводами, витаминами, органическими кислотами и минералами.

Трудами астраханских ученых экспериментально установлены количественные зависимости: при снижении доли крупяных добавок с 10 до 20 % влагосвязывающая способность (ВСС) и влагоудерживающая способность (ВУС) фарша уменьшались на 1,5 % и 0,9–1,7 % соответственно. Добавление овощей незначительно повышало массовую долю влаги: лука – на 1,9 %, кабачка – на 1,6 %, чайота – на 1,5 %, капусты – на 1,4 %, моркови – на 1,2 %, свёклы – на 0,9 %. При этом ВСС изменялась неоднородно: рост наблюдался при введении лука (+2,7 %), кабачка (+2,2 %), чайота (+2,1 %), свёклы (+1,5 %), моркови (+0,4 %); при добавлении капусты ВСС снижалась на 0,5 %. Увеличение доли добавок с 10 до 20 % приводило к росту влаги и ВСС на 0,7–1,0 % и 0,5–1,6 % соответственно. Особенно выраженным оказалось повышение ВУС: кабачок – на 20,4 %, капуста – на 20,3 %, морковь – на 19,4 %, свёкла – на 18,6 %, лук – на 16,8 %. Это напрямую влияет на сочность готового продукта. Практический вывод: для улучшения потребительских свойств рыборастительных котлет оптимально вносить до 40 % овощей и до 10 % измельчённой крупы.

В публикации К.В. Колончина (директора ВНИИРО) раскрывается роль рыбохозяйственной науки в развитии отрасли [16]. В работе проанализированы ключевые показатели состояния рыбохозяйственного комплекса РФ, а также обозначены актуальные проблемы и возможные пути их решения.

Технологические и биологические аспекты выращивания рыб как основа качества сырья

Качество рыборастительных продуктов напрямую определяется характеристиками исходного рыбного сырья. В источнике [13] рассмотрены варианты использования в паштетах мышечной ткани морских рыб и объектов аквакультуры. Проведён сравнительный анализ состава и свойств: среди морских видов – сельдь тихоокеанская, килька каспийская, треска; среди объектов аквакультуры – клариевый сом, тиляпия, толстолобик.

Особенности совместного выращивания тиляпии и осетра в клетках на малых реках Краснодарского края описаны в работе [32], отозванной 14 января 2026 г. Причины отзыва остаются неясными: возможно, были выявлены неточности в представленных данных.

Ранняя диагностика заболеваний рыб – ключевой фактор снижения экономических и экологических рисков в аквакультуре. В исследовании [33] предложен подход на базе машинного обучения, использующий изображения для классификации состояния рыб. Для обучения модели был сформирован репрезентативный датасет: 456 изображений здоровой рыбы и 752 – заражённой. Изображения собирали из онлайн-источников и от предприятий, специализирующихся на разведении лососёвых. Для повышения надёжности и объёма данных применяли аугментацию: поворот, обрезку, зеркальное отражение и масштабирование.

Автоматизированные системы управления аквакультурой объединяют IoT-технологии и искусственный интеллект. В работе [35] предложена модель для повышения эффективности рыбоводства в Бенине: датчики собирают данные в реальном

времени, ИИ анализирует отклонения и помогает принимать решения. Аналогичные решения представлены в [36] – интеллектуальная система на базе IoT и суррогатных моделей ИИ. В публикациях [37–39] описана архитектура ИИ-системы для «умного» пруда.

Перспективным примером цифровизации отрасли служит китайская экосистема на базе AI и IoT (AI CBE) компании Celefish. Исследование демонстрирует, как коллаборативная бизнесэкосистема способствует совместному созданию ценности и устойчивому развитию рыбохозяйственной отрасли.

Кормовые решения и оптимизация питания рыб в аквакультуре

Для растительноядных рыб (белый амур, белый и пёстрый толстолобик, лещ, плотва) естественной кормовой базой служат высшие водные растения, водоросли, фитопланктон и зоопланктон. В индустриальной аквакультуре ключевой проблемой остаётся обеспечение стабильного качества комбикормов.

Специалисты ВНИРО предлагают дифференцированный подход к переработке жирного и тощего рыбного сырья для сохранения высоких показателей рыбной муки [3]. В биотехнологических разработках перспективным направлением стало применение гриба Rhizopus oligosporus для производства белкового корма. Оптимальные условия его культивирования: температура 29–36 °C (при 38 °C культура погибает), продолжительность 24–48 часов. Уже через 24 часа формируется рыхлый белый мицелий, визуально напоминающий пух или вельветовую ткань. Ферментация соевого зерна этим грибком позволяет получить продукт с плотной структурой.

Рациональным решением считается включение в корма порошка из рыбных костей (вторичные ресурсы разделки рыбы) как источника макро и микроэлементов [26]. Исследования охватывали амура белого, судака, толстолобика, треску. Установлено, что доля костных отходов при разделке достигает 10,1 % от массы неразделанной рыбы. Ресурсосберегающие машинные технологии на базе модульных мехатронных конструкций позволяют получать хребтовые и рёберные кости с минимальным содержанием мышечной ткани. Представлена схема мясокостного сепаратора для одновременного получения рыбного фарша и костных отходов.

Альтернативой традиционным компонентам могут служить корма на основе летающих насекомых: их мука по белковому профилю ближе к рыбной муке, чем растительные добавки. В обзоре [29] приведены данные об использовании биомассы насекомых в рационах радужной форели. Автоматизированное управление кормлением позволяет точно контролировать расход кормов в рыбоводных резервуарах [34]. Таким образом, кормовая база растительноядных рыб опирается на природные ресурсы водной растительности, а в индустриальных системах – на комбикорма, рыбную муку и биомассу насекомых.

Переработка вторичного рыбного сырья: технологические и экономические аспекты

В последние годы в развитых странах официально закреплён курс на вовлечение вторичных ресурсов, образующихся при переработке рыбы на стационарных предприятиях и плавучих базах, в пищевой и кормовой оборот. К таким ресурсам относят головы, плавники, чешую, кожу, костную ткань, кровь, ферменты ЖКТ.

Астраханские специалисты исследовали влияние растительных добавок на скорость ферментолиза рыбного фарша [9]. Важным технологическим условием является своевременный сбор, резервирование и сохранение отходов до переработки [14].

В работе [17] изучали гидролизаты с концентрацией химического реагента 0,2 % методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, определяя содержание незаменимых аминокислот (метионин, лизин, треонин) и жирорастворимых витаминов (A, D_3, E). Предварительная обработка кожи сельди с чешуёй проводилась щелочным реагентом (0,05 %) при жидкостном коэффициенте 4.

Анализ массового состава прудовых рыб Волжско-Каспийского бассейна (белый амур, карп, толстолобик) [18] показал, что основную долю отходов составляют костная ткань (около 62,8 %) и внутренние органы (21,2 %). Также был изучен химический состав внутренних органов: печени, сердца, кишечника, желчного и плавательного пузырей, молок, икры.

Исследование [22] подтвердило возможность извлечения ихтиоколлагена из кожи с чешуёй щуки и судака. Выход продукта достигает 70 % от массы сырья, при этом обеспечивается высокая устойчивость к микроорганизмам в процессе длительного хранения. Совокупность физико-химических характеристик открывает перспективы для дальнейшего изучения областей применения.

Биохимические, экологические и нормативные требования к сырью и продукции

Требования к качеству рыбного сырья и готовых продуктов включают биохимические и экологические критерии, обеспечивающие безопасность и соответствие нормативным документам – в частности, техническому регламенту ЕАЭС 040/2016. При проектировании перерабатывающих предприятий особое внимание уделяют промышленной безопасности: часто для энергоснабжения используют нефтепродукты, характеризующиеся повышенной пожаро и взрывоопасностью [17], поэтому обязательны меры противопожарной защиты.

При обогащении рыбных продуктов растительным сырьём важно учитывать возможное присутствие антипитательных веществ [15]. Масштабные исследования в этом направлении ведутся в КубГАУ под руководством Е.А. Ольховатого. В зернобобовых культурах встречаются ингибиторы протеаз, лектины, цианогенные гликозиды, антивитамины, токсичные аминокислоты. Для их инактивации применяют физические, тепловые и электрохимические методы.

Повышение качества сырья также связано с селекцией высокопродуктивных кроссов рыб [21]. Сравнительная оценка нового трёхпородного кросса карпа показала его преимущества над кроссами «Сурский малокостный» и «Петровский». Индекс прогонистости у нового гибрида достоверно ниже, что свидетельствует о лучших товарных качествах. По размерно-весовым показателям двухлетки нового кросса превосходят другие варианты, подтверждая высокий потенциал продуктивности. Все гематологические показатели рыб соответствуют нормативным физиологическим значениям, а повышенная жизнестойкость говорит о хорошей резистентности гибрида.

Выводы.

В работе приводится описание исторических параллелей формирования качества продуктов питания на базе рыбного сырья за последние 10 лет. Сформулированы новые подходы к повышению качества пищевых систем на базе животного и растительного сырья в изложении специалистов ВНИРО, Астраханского, Воронежского и Кубанского университетов пищевого профиля. Охарактеризован вклад отечественных рыбохозяйственных научных школ в создание функциональных продуктов на рыбной основе. Уделено внимание различным аспектам выращивания рыб в открытых водоемах и в условиях замкнутого водоснабжения. Представлены пути развития аквакультуры за счет создания сбалансированных по аминокислотному составу комбикормов для рыб. Описаны технологические способы комплексной переработки рыбного сырья, которые во многом способствуют современные способы использования вторичного рыбного сырья – кожи, костей, плавников, чешуи, ферментов внутренностей. Сформулированы требования к рыбному и растительному сырью, предназначенному для конструирования продуктов функционального назначения.

Литература

1. Антипова Л.В. Рациональное использование прудовых рыб поликультурного выращивания – вектор развития производства высококачественных рыбопродуктов / Л.В. Антипова, Е.С. Попов // Новые технологии. – 2023. – Т. 19. – № 3. – С. 14–26.
2. Антоненко Д.В. Особенности промысла дальневосточной сардины в зависимости от океанологических условий в прикурильских водах в 2016–2025 гг. / Д.В. Антоненко, Ю.В. Новиков // Труды ВНИРО. – 2026. – Т. 203. – С. 51–65.
3. О путях повышения качества кормовой рыбной муки для нужд аквакультуры в Российской Федерации / Р.В. Артемов [и др.] // Труды ВНИРО. – 2019. – Т. 176. – С. 152–159.
4. Технология многокомпонентных пастообразных продуктов на основе фарша тиляпии / О.П. Дворянинова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 1 – С. 16–22.

5. Досаева В.Г. Искусственное воспроизводство севрюги в Волжско-Каспийском рыбохозяйственном бассейне: история, современное состояние и перспективы восстановления / В.Г. Досаева, Д.Е. Кириллов, О.В. Пятикопова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2026. – № 1. – С. 89–87.
6. Дяченко М.М. Актуальные вопросы и нормативная база обоснования сроков годности пищевой рыбной продукции / М.М. Дяченко, С.А. Полунина, А.В. Межонов // Рыбное хозяйство. – 2026. – № 1. – С. 87–92.
7. Золотокопов А.В. Достижения в области экстракции ценных компонентов из растительного сырья сжиженными углеводородными газами / А.В. Золотокопов, Г.И. Касьянов, А.М. Медведев // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 67–73.
8. Золотокопов А.В. Технология рыборастительного хлеба с заданными показателями пищевой безопасности / А.В. Золотокопов, М.Е. Цибизова, С.П. Запорожская // В сборнике: Оптимизация технологических процессов и разработка новых, прорывных способов переработки агропищевого сырья и водных биологических ресурсов. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 106-годовщине Кубанского государственного технологического университета. – Краснодар, 2024. – С. 168–171.
9. Золотокопов А.В. Влияние растительных добавок на ферментолиз рыбных фаршей / А.В. Золотокопов, М.Е. Цибизова, Е.Ю. Лебедева; Под общей редакцией Н.Т. Берберовой, К.П. Пащенко // В сборнике: Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвящённая 85-летию со дня основания вуза (59 НПР). Материалы. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». – 2015. – С. 196–197.
10. Безотходные и малоотходные технологии в экономике замкнутого цикла рыбоперерабатывающих производств / С.В. Золотокопова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 47–53.
11. Функционально-технологические свойства рыборастительного фарша / С.В. Золотокопова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 4(376). – С. 44–47.
12. Золотокопова С.В. Технологические приемы создания специализированных продуктов питания геродиетического назначения / С.В. Золотокопова, Г.И. Касьянов, А.М. Медведев // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 57–63.
13. Использование морских видов рыб в рыборастительных паштетах / С.В. Золотокопова [и др.] // В сборнике: Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума : в 6-ти томах. – 2019. – С. 41–45.
14. Касьянов Г.И. Технологические особенности переработки вторичных рыбных ресурсов / Г.И. Касьянов, А.А. Дядюн // В сборнике материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры общественного питания и сервиса и в рамках Десятилетия науки и технологий «Инновации в индустрии питания и сервисе». – Краснодар, 2025. – С. 57–59.
15. Касьянов Д.Г. Оценка влияния способов инактивации антипитательных веществ хлебных злаков и бобов на пищевую ценность вырабатываемой продукции / Д.Г. Касьянов, А.В. Золотокопов // В сборнике: Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию со дня образования общероссийской общественной организации «Российская инженерная академия». – Краснодар, 2025. – С. 359–364.
16. Колончин К.В. Рыбохозяйственный комплекс России: Состояние, проблемы и пути их решения // Вопросы рыболовства. – 2026. – Т. 27. – № 1. С. 5–38.
17. Методика сохранения биологически активных веществ при обработке многокомпонентного побочного рыбного сырья / М.И. Кременевская [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2023. – № 2. – С. 50–59.
18. Магданова Ю.Р. Инновационные решения переработки вторичных рыбных ресурсов / Ю.Р. Магданова, М.Е. Цибизова // В сборнике: 64-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 90-летнему юбилею со дня образования Астраханского государственного технического университета. Материалы конференции. – 2020. – 52 с.
19. Стандарты, проверенные временем. 35 лет Техническому комитету по стандартизации «Рыбные продукты пищевые, кормовые, технические и упаковка» / А.В. Межонов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2026. – № 2. – С. 11–19.
20. Мнацаканян А.Г. Исследование параметров спроса на рыбопродукты в контексте экономического благосостояния потребителей / А.Г. Мнацаканян, А.Г. Харин // Труды ВНИРО. – 2026. – Т. 203. – С. 148–157.

21. Моргулев С.К. Сравнительная оценка кроссов карпа по биохимическим показателям / С.К. Моргулев, Г.И. Пронина, О.В. Алимкина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2024. – № 4. – С. 107–113. – URL : https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-107-113
22. Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов / Д.В. Олдырев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 3. – С. 182–198. – URL : https: //doi.org/10.36107/spfp.2023.451
23. ПНСТ 826-2023. Продукция пищевая. Определение срока годности. Общие требования. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 мая 2023 г. № 18-пнст. – URL : https://docs.cntd.ru/ document/1301609068
24. Раков А.М. Выращивание африканского клариевого сома (Clarias gariepinus) в условиях биофлока: сравнительный анализ с установкой замкнутого водоснабжения / А.М. Раков, Ю.Н. Грозеску, А.Н. Неваленный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2026. – № 2. – С. 52–57. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-52-57
25. Стуков А.В. Сравнительная морфологическая характеристика популяций судака обыкновенного Sander lucioperca (Linnaeus, 1758) р. Кубань и Азовского моря / А.В. Стуков, А.В. Абрамчук, Н.Г. Пашинова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2026. – № 2. – С. 7–13. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-7-13
26. Совершенствование технологии и оборудования для получения костной рыбной добавки / Ю.А. Фатыхов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2022. – № 1(385). – С. 72–76. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.1.14
27. Хамитова М.Ф. Особенности гидробиоценоза биофильтра рыбоводной установки замкнутого цикла / М.Ф. Хамитова, М.Л. Калайда // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2026. – № 2. – С. 58–69. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-58-69
28. Цибизова М.Е. Оптимизация показателей качества рыборастительных паштетов / М.Е. Цибизова, А.В. Золотокопов // В сборнике: 68-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвящённая 30-летию со дня присвоения АТИРПиХ статуса технического университета. Материалы конференции. – Астрахань, 2024. – С. 682–685.
29. Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы) / И.Г. Шайхиев [и др.] // Вестник Астраханского государств. технич. ун-та. Серия Рыбное хозяйство. – 2021. – № 1. – С. 69–80. DOI 10/24143/2073-5529-2021-1-69-81
30. Шейкина Е.В. Инновационные мясорастительные производства: Архитектурно-технологические решения / Е.В. Шейкина, Г.И. Касьянов. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2026. – 170 с.
31. Яркина Н.Н. Эффективность управления рыбохозяйственной деятельностью через призму отраслевой специфики (предпринимательский уровень) // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2023. – № 4. – С. 374–381. DOI: 10.26296/2619-0605.2023.4.4.035
32. Abramchuk A. Joint cultivation of sturgeon and tilapia in cages on small rivers (Krasnodar territory) / A. Abramchuk, G. Moskul, N. Pashinova // In the Collection: BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2023). EDP Sciences. – 2024. – 01060 p.
33. Ahmed M.S. Fish Disease Detection Using Image Based Machine Learning Technique in Aquaculturee / M.S. Ahmed, T.T. Aurpa, M.A.K. Azad // Journal of King Saud University – Comouter and Information Technology. – 2022. – № 34(8). – P. 5170–5182.
34. Atoum Y. Automatic feeding control for dense aquaculture fish tanks / Y. Atoum, S. Srivastava, X. Liu // IEEE Signal Processing Letters. – 2015.– № 22(8). – P. 1089–1093. – URL : https://doi.org/10.1109/ LSP.2014.2385794
35. Bidossessi E.A. IoT & AI Based System to improve Fish Farming: Case study of Benin. Kobe Institute of Computing. – 2021.
36. Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models / M.C. Chiu [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. 2022. – URL : https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100357
37. Naseer Sanni Ajoge, Mohammed Auwal Ahmed, Abubakar Balarabe. A Framework for an AI-IoT Based System for Improving Fish Production in a Smart Pond // International Journal of Innova-

tive Science and Research Technology ISSN № 2456-2165 IJISRT23OCT1618 www.ijisrt.com 1638. – 2023. – Vol. 8. – Iss. 10.
38. Ramya A. Iot based smart monitoring system for fish farming / A. Ramya, R. Rohini, S. Ravi // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – № 8 (6 Special Issue). – P. 420–424. https://doi.org/10.35940/ijeat.F1089.0886S19
39. Ubina N.A. Digital twin-based intelligent fish farming with Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT) / N.A. Ubina, H.Y. Lan, S.C. Cheng // Smart Agricultural Technology. – 2023. – № 5. – URL : https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100285).

References

1. Antipova L.V. Rational utilization of pond-reared fish from polyculture systems as a pathway for developing high-quality fish products / L.V. Antipova, E.S. Popov // New Technologies. – 2023. – Vol. 19. – № 3. – P. 14–26.
2. Antonenko D.V. Characteristics of the Far Eastern sardine fishery in relation to oceanographic conditions in the waters off the Kuril Islands (2016–2025) / D.V. Antonenko, Yu.V. Novikov // Proceedings of VNIRO. – 2026. – Vol. 203. – P. 51–65.
3. On methods for improving the quality of fish meal for aquaculture use in the Russian Federation / R.V. Artemov [et al.] // Proceedings of VNIRO. – 2019. – Vol. 176. – P. 152–159.
4. Technology for multicomponent paste-like products based on tilapia mince / O.P. Dvoryaninova [et al.] // Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products. – 2021. – № 1. – P. 16–22.
5. Dosaeva V.G. Artificial reproduction of stellate sturgeon in the Volga-Caspian fishery basin: history, current status, and prospects for recovery / V.G. Dosaeva, D.E. Kirillov, O.V. Pyatikopova // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. – 2026. – № 1. – P. 89–97.
6. Dyachenko M.M. Current issues and the regulatory framework for substantiating the shelf life of fish-based food products / M.M. Dyachenko, S.A. Polunina, A.V. Mezhonov // Fisheries (Rybnoye Khozyaystvo). – 2026. – № 1. – P. 87–92.
7. Zolotokopov A.V. Advances in the extraction of valuable components from plant-based raw materials using liquefied hydrocarbon gases / A.V. Zolotokopov, G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 67–73.
8. Zolotokopov A.V. Technology for producing fish-and-plant-based bread with specified food safety parameters / A.V. Zolotokopov, M.E. Tsibizova, S.P. Zaporozhskaya // In: Optimization of Technological Processes and Development of New, Breakthrough Methods for Processing Agri-Food Raw Materials and Aquatic Biological Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 106th anniversary of the Kuban State University of Technology. – Krasnodar, 2024. – P. 168–171.
9. Zolotokopov A.V. The Influence of Plant-Based Additives on the Enzymolysis of Fish Mince / A.V. Zolotokopov, M.E. Tsibizova, E.Yu. Lebedeva; edited by N.T. Berberova and K.P. Pashchenko // In: Proceedings of the International Scientific Conference of Academic and Teaching Staff at Astrakhan State Technical University, dedicated to the 85th anniversary of the university's founding. Astrakhan State Technical University, 2015. – P. 196–197.
10. Zero-Waste and Low-Waste Technologies in the Circular Economy of Fish-Processing Industries / S.V. Zolotokopova [et al.] // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 47–53.
11. Functional and Technological Properties of Fish-Plant-Based Minced Products / S.V. Zolotokopova [et al.] // News of Higher Educational Institutions. Food Technology. – 2020. – № 4(376). – P. 44–47.
12. Zolotokopova S.V. Technological Approaches to Creating Specialized Food Products for Gerodietetic Purposes / S.V. Zolotokopova, G.I. Kasyanov, A.M. Medvedev // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 57–63.
13. The Use of Marine Fish Species in Fish-Plant-Based Pâtés / S.V. Zolotokopova [et al.] // In the collection: Baltic Marine Forum. Proceedings of the VII International Baltic Marine Forum : in 6 vol. – 2019. – P. 41–45.
14. Kasyanov G.I. Technological aspects of processing secondary fish resources / G.I. Kasyanov, A.A. Dyadyun // In the proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference «Innovations in the Food Service and Hospitality Industry», held to mark the 40th anniversary of the Department of Food Service and Hospitality and as part of the Decade of Science and Technology. – Krasnodar, 2025. – P. 57–59.
15. Kasyanov D.G. Assessing the impact of methods for inactivating anti-nutritional substances in cereals and legumes on the nutritional value of the final products / D.G. Kasyanov, A.V. Zolotokopov // In: Modern Aspects of Agricultural Production and Processing. A collection of articles based on the proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference, held to

mark the 35th anniversary of the founding of the all-Russian public organization «Russian Engineering Academy». – Krasnodar, 2025. – P. 359–364.
16. Kolonchin K.V. Russia's Fisheries Complex: Status, Challenges, and Solutions // Journal of Fisheries (Voprosy Rybolovstva). – 2026. – Vol. 27. – № 1. – P. 5–38.
17. Methodology for Preserving Biologically Active Substances During the Processing of Multicomponent Fish By-products / M.I. Kremenevskaya [et al.] // Scientific Journal of ITMO University. Series: Processes and Equipment for Food Production. – 2023. – № 2. – P. 50–59.
18. Magdanova Yu.R. Innovative Solutions for Processing Secondary Fish Resources / Yu.R. Magdanova, M.E. Tsibizova // In: Proceedings of the 64th International Scientific Conference of Astrakhan State Technical University, Dedicated to the 90th Anniversary of the University's Founding. – 2020. – 52 p.
19. Standards Tested by Time: 35 Years of the Technical Committee for Standardization «Fish Products (Food, Feed, and Technical) and Packaging» / A.V. Mezhonov [et al.] // Fisheries (Rybnoye Khozyaystvo). – 2026. – № 2. – P. 11–19.
20. Mnatsakanyan A.G. A Study of Demand Parameters for Fish Products in the Context of Consumer Economic Well-being / A.G. Mnatsakanyan, A.G. Kharin // Proceedings of VNIRO. – 2026. – Vol. 203. – P. 148–157.
21. Morgulev S.K. Comparative Assessment of Carp Crossbreeds Based on Biochemical Indicators / S.K. Morgulev, G.I. Pronina, O.V. Alimkina // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. – 2024. – № 4. – P. 107–113. – URL : https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-4-107-113
22. Production of a collagen-containing fish-derived substance from secondary fish resources / D.V. Oldyrev // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. – 2023. – № 3. – P. 182–198. – URL : https://doi.org/10.36107/spfp.2023.451
23. PNST 826-2023. Food products. Determination of shelf life. General requirements. Approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 18, 2023, № 18-PNST. – URL : https://docs.cntd.ru/document/1301609068
24. Rakov A.M. Rearing of African sharptooth catfish (Clarias gariepinus) in a biofloc system: a comparative analysis with a recirculating aquaculture system / A.M. Rakov, Yu.N. Grozesku, A.N. Nevalenny // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2026. – № 2. – P. 52–57. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-52-57
25. Stukov A.V. Comparative morphological characteristics of zander (Sander lucioperca (Linnaeus, 1758)) populations from the Kuban River and the Sea of Azov / A.V. Stukov, A.V. Abramchuk, N.G. Pashinova // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2026. – № 2. – P. 7–13. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-7-13
26. Improvement of technology and equipment for the production of fish bone-based additives / Yu.A. Fatykhov [et al.] // News of Higher Educational Institutions. Food Technology. – 2022. – № 1(385). – P. 72–76. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.1.14
27. Khamitova M.F. Characteristics of the hydrobiocenosis in the biofilter of a recirculating aquaculture system / M.F. Khamitova, M.L. Kalaida // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2026. – № 2. – P. 58–69. DOI: https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-2-58-69
28. Tsibizova M.E. Optimization of quality indicators for fish-and-plant-based pâtés / M.E. Tsibizova, A.V. Zolotokopov // In: Proceedings of the 68th International Scientific Conference of Astrakhan State Technical University, dedicated to the 30th anniversary of the granting of technical university status to ATIRPiKh (Astrakhan Technical Institute of the Fishing Industry and Fisheries). – Astrakhan, 2024. – P. 682–685.
29. The use of insect biomass for the cultivation of rainbow trout in aquaculture (a brief review of foreign literature) / I.G. Shaikhiev [et al.] // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. – 2021. – № 1. – P. 69–80. DOI 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81
30. Sheikina E.V. Innovative Meat-and-Plant-Based Production Facilities: Architectural and Technological Solutions / E.V. Sheikina, G.I. Kasyanov. – Krasnodar : Izdatelskiy Dom – Yug, 2026. – 170 p.
31. Yarkina N.N. Efficiency of Managing Fisheries-Related Activities Through the Lens of Industry-Specific Characteristics (Entrepreneurial Level) // Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University. – 2023. – № 4. – P. 374–381. DOI: 10.26296/2619-0605.2023.4.4.035
32. Abramchuk A. Joint cultivation of sturgeon and tilapia in cages on small rivers (Krasnodar territory) / A. Abramchuk, G. Moskul, N. Pashinova // In the Collection: BIO Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2023). EDP Sciences. – 2024. – 01060 p.
33. Ahmed M.S. Fish Disease Detection Using Image Based Machine Learning Technique in Aquaculturee / M.S. Ahmed, T.T. Aurpa, M.A.K. Azad // Journal of King Saud University – Comouter and Information Technology. – 2022. – № 34(8). – P. 5170–5182.

34. Atoum Y. Automatic feeding control for dense aquaculture fish tanks / Y. Atoum, S. Srivastava, X. Liu // IEEE Signal Processing Letters. – 2015.– № 22(8). – P. 1089–1093. – URL : https://doi.org/10.1109/ LSP.2014.2385794
35. Bidossessi E.A. IoT & AI Based System to improve Fish Farming: Case study of Benin. Kobe Institute of Computing. – 2021.
36. Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models / M.C. Chiu [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. – 2022. – URL : https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100357
37. Naseer Sanni Ajoge, Mohammed Auwal Ahmed, Abubakar Balarabe. A Framework for an AI-IoT Based System for Improving Fish Production in a Smart Pond // International Journal of Innovative Science and Research Technology ISSN № 2456-2165 IJISRT23OCT1618 www.ijisrt.com 1638. – 2023. – Vol. 8. – Iss. 10.
38. Ramya A. Iot based smart monitoring system for fish farming / A. Ramya, R. Rohini, S. Ravi // International Journal of Engineering and Advanced Technology. – 2019. – № 8 (6 Special Issue). – P. 420–424. https://doi.org/10.35940/ijeat.F1089.0886S19
39. Ubina N.A. Digital twin-based intelligent fish farming with Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT) / N.A. Ubina, H.Y. Lan, S.C. Cheng // Smart Agricultural Technology. – 2023. – № 5. – URL : https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100285).

УДК 656

ПЕРСПЕКТИВЫ И ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ: ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ЭКОЛОГИЯ И ПРОГНОЗЫ НА 5–10 ЛЕТ

♦♦♦♦♦

PROSPECTS AND TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS SERVICES: DIGITALIZATION, ECOLOGY AND FORECASTS FOR 5–10 YEARS

Изюмский А.А.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Кабишева В.М.
Кубанский государственный технологический университет

Нагорный В.В.
Кубанский государственный технологический университет

Олифер В.А.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. Статья посвящена анализу перспективных направлений развития транспортно-логистической отрасли в контексте глобальных технологических и экологических трансформаций. Рассматривается роль новых технологий в логистике: цифровые платформы, автоматизация, роботизация, блокчейн и искусственный интеллект, а также региональные особенности их внедрения в Восточной Европе и странах СНГ. Отдельное внимание уделено концепции устойчивого развития и «зелёной» логистики, включая переход на экологичные виды транспорта, снижение углеродного следа и энергоэффективность. В заключительной части статьи представлен прогноз развития транспортно-логистических услуг на ближайшие 5–10 лет с учетом технологических, геополитических, экономических и экологических факторов, а также обозначены основные риски и возможности для стран региона.

Ключевые слова: цифровизация, автоматизация, искусственный интеллект, устойчивое развитие, зеленая логистика, прогнозирование, тренды развития, мультимодальные перевозки.

Izyumsky A.A.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Kabisheva V.M.
Kuban State Technological University

Nagorny V.V.
Kuban State Technological University

Olifer V.A.
Kuban State Technological University

Annotation. The article is devoted to the analysis of promising directions for the development of the transport and logistics industry in the context of global technological and environmental transformations. The role of new technologies in logistics is considered: digital platforms, automation, robotization, blockchain and artificial intelligence, as well as regional features of their implementation in Eastern Europe and the CIS countries. Special attention is paid to the concept of sustainable development and green logistics, including the transition to environmentally friendly modes of transport, reducing the carbon footprint and energy efficiency. The final part of the article presents a forecast for the development of transport and logistics services for the next 5–10 years, taking into account technological, geopolitical, economic and environmental factors, and also outlines the main risks and opportunities for the countries of the region.

Keywords: digitalization, automation, artificial intelligence, sustainable development, green logistics, forecasting, development trends, multimodal transportation.

Развитие логистических услуг невозможно без внедрения новых технологий, которые радикально трансформируют подходы к управлению цепочками поставок, повышают прозрачность, сокращают затраты и увеличивают скорость обработки и доставки грузов. Цифровизация, автоматизация и устойчивые «зелёные» решения становятся ключевыми факторами повышения конкурентоспособности логистических компаний и транспортных систем в целом.

Одной из ведущих тенденций является внедрение цифровых платформ для управления логистическими операциями. Системы управления транспортом, складом и цепочками поставок позволяют оптимизировать процессы планирования, отслеживания и анализа грузоперевозок. В странах Восточной Европы эти технологии получили широкое распространение благодаря высокому уровню цифровой зрелости и доступу к инновационным решениям, разработанным как в рамках национальных стратегий, так и с участием международных партнёров. Во всем мире сейчас активно используются системы электронных накладных (e-CMR).

В странах СНГ процесс цифровизации происходит менее равномерно, но также набирает темп. Россия и Казахстан, как лидеры региона, инвестируют в создание интеллектуальных транспортных систем (ИТС), автоматизацию контроля на границах и внедрение цифровых платформ для межгосударственного обмена логистической информацией. Примером может служить проект «Цифровой транспортный коридор» в рамках ЕАЭС, направленный на автоматизацию всех этапов перевозки от отправки до прибытия. Внедрение блокчейн-технологий также становится актуальным для повышения прозрачности документооборота и борьбы с контрафактом.

Важным направлением является автоматизация складской и логистической инфраструктуры. Роботизация складов, внедрение автоматических сортировочных систем, использование дронов и автономного транспорта постепенно распространяются на территории Восточной Европы, особенно в хабах, обслуживающих международную торговлю. Логистические парки в Польше и Словакии оборудуются автоматизированными стеллажами и системами на базе искусственного интеллекта, что позволяет значительно сократить время комплектации заказов и минимизировать человеческий фактор.

В странах СНГ такие технологии пока применяются в пилотном режиме, в основном в крупных агломерациях (Москва, Санкт-Петербург, Алматы), однако растущий интерес к электронной коммерции и ускорение трансграничных онлайн-продаж стимулируют спрос на цифровую модернизацию логистических процессов.

Ещё одним актуальным направлением является развитие устойчивых и экологичных решений в логистике. Концепция «зелёной логистики» включает в себя использование электромобилей и гибридного транспорта, строительство энергоэффективных складов, оптимизацию маршрутов для снижения выбросов углерод. В странах Восточной Европы, ориентированных на экологическую повестку ЕС, эти меры получают серьёзную поддержку, включая субсидии и налоговые льготы. В странах СНГ внедрение подобных технологий пока ограничено, но наблюдается рост интереса со стороны частного сектора, особенно в контексте выхода на международные рынки и соответствия требованиям зарубежных партнёров.

Таким образом, новые технологии становятся ключевым фактором трансформации логистического сектора. Страны Восточной Европы демонстрируют более высокий уровень интеграции цифровых и устойчивых решений, в то время как в странах СНГ такие процессы только набирают силу, но имеют значительный потенциал роста при условии инвестиций и международного сотрудничества.

Современные логистические системы находятся под всё возрастающим давлением экологических и социальных требований. Устойчивое развитие становится неотъемлемой частью стратегии транспортно-логистических компаний, особенно в условиях глобальной климатической повестки и роста регуляторного давления со стороны международных организаций и потребительского рынка. Концепция устойчивой логистики включает в себя не только сокращение углеродного следа, но и рациональное использование ресурсов, снижение уровня загрязнения, энергоэффективность инфраструктуры, экологичность транспорта и социальную ответственность бизнеса.

В странах Восточной Европы устойчивое развитие активно продвигается в рамках общеевропейской стратегии, которая предусматривает достижение климатической нейтральности ЕС к 2050 году. Это оказывает прямое влияние на логистическую отрасль: компании обязаны адаптироваться к новым требованиям по выбросам, переходить на более экологичный транспорт, внедрять «зелёные» технологии и отчитываться

перед правительством. Польша, Чехия и Венгрия внедряют проекты по электрификации логистики, модернизации автопарков, использованию биотоплива, строительству энергоэффективных складов и развитию «зелёных» логистических парков.

Кроме того, в странах ЕС существуют налоговые и регуляторные стимулы для компаний, инвестирующих в устойчивые логистические решения. Это создаёт мощный толчок к внедрению экологических инноваций – от применения систем интеллектуального управления маршрутами до использования солнечных панелей на складах и водородных источников энергии на терминалах.

В странах СНГ устойчивое развитие пока не стало системным приоритетом, однако тенденции в этом направлении постепенно усиливаются. Россия, Казахстан, Беларусь и другие государства региона начали внедрение элементов экологической логистики, особенно в рамках крупных инфраструктурных и экспортноориентированных проектов. В условиях растущего интереса со стороны иностранных партнёров, логистические операторы в СНГ вынуждены адаптироваться к международным стандартам, в том числе европейской отчётности, сертификации экологического менеджмента, а также критериям устойчивости при участии в глобальных логистических цепочках.

Например, в Казахстане при поддержке международных финансовых организаций реализуются проекты по развитию логистических узлов с минимальным воздействием на окружающую среду. В России отдельные логистические компании начали переход на электротранспорт и строительство складов с использованием энергосберегающих технологий. Однако в целом уровень проникновения экологических стандартов остаётся частичным, а правительственная поддержка и правовая база требуют дальнейшего развития.

Одной из ключевых проблем на пути устойчивой логистики в СНГ является ограниченный доступ к «зелёному» финансированию и низкая заинтересованность бизнеса в долгосрочных экологических инвестициях. Также существенным барьером остаётся отсутствие обязательных требований к отчётности по выбросам в транспортной отрасли и слабая интеграция целей устойчивого развития в национальные логистические стратегии.

Таким образом, устойчивое развитие и экологические практики в логистике становятся важнейшим направлением трансформации отрасли. Страны Восточной Европы продвигаются в этом направлении системно, используя ресурсы ЕС и регулирующие механизмы. В странах СНГ пока наблюдается точечное внедрение экологических решений, однако международные обязательства, развитие экспортной логистики и участие в глобальных цепочках поставок создают объективные стимулы для экологизации сектора в среднесрочной перспективе.

Транспортно-логистическая отрасль в странах СНГ и Восточной Европы в ближайшие годы будет развиваться под влиянием целого комплекса факторов: технологических, геополитических, экономических и экологических. Учитывая текущее состояние отрасли, а также глобальные тенденции, можно выделить несколько ключевых направлений, определяющих её трансформацию на горизонте 5–10 лет:

Цифровые технологии продолжат играть ключевую роль в развитии логистических услуг. Ожидается активное внедрение систем искусственного интеллекта, машинного обучения и аналитики больших данных для оптимизации цепочек поставок, прогнозирования спроса, управления запасами и планирования маршрутов. Автоматизация складов, использование дронов для доставки, роботизированных систем и автономного транспорта станут нормой, особенно в странах Восточной Европы, где цифровизация уже имеет поддержку со стороны ЕС.

В странах СНГ темпы внедрения технологий будут зависеть от уровня государственной поддержки и инвестиционной активности. Однако, учитывая растущий интерес к электронной коммерции, развитию маркетплейсов и трансграничной торговли, можно ожидать существенный прогресс, особенно в крупных городах и на основных транзитных направлениях.

На фоне геополитических изменений (включая санкции и изменения маршрутов грузоперевозок), будут усиливаться альтернативные маршруты. Наибольшие перспек-

тивы сохраняют коридоры «Север – Юг» и «Запад – Восток». Страны СНГ, особенно Казахстан, Узбекистан, Азербайджан, будут стремиться занять стратегическое положение на новых логистических маршрутах между Китаем, Европой и Южной Азией.

Также будет возрастать значение мультимодальных перевозок, что потребует дополнительных инвестиций в терминальную инфраструктуру, порты и сухие порты.

Экологические требования и нормы устойчивого развития будут усиливаться как на глобальном уровне, так и на региональном. В странах Восточной Европы рост значения европейских подходов и экологических стандартов (включая углеродный след, энергоэффективность, переход на электромобили и альтернативное топливо) уже очевиден, и эта тенденция будет только укрепляться.

В странах СНГ экологические практики также начнут внедряться шире – в первую очередь в рамках экспортноориентированных бизнесов, а также под давлением международных партнёров. Это потребует законодательной адаптации, появления «зелёных» программ финансирования и трансформации корпоративных стратегий.

Рост объёмов электронной торговли как внутри стран, так и на международном уровне приведёт к усиленному развитию городской логистики и последней мили. Будут активно развиваться службы быстрой доставки, логистические стартапы, платформы электронной координации поставок, а также интеллектуальные системы планирования маршрутов.

Несмотря на позитивные прогнозы, в ближайшие годы логистическая отрасль останется под воздействием внешних рисков – геополитической напряжённости, санкционной политики, нестабильности валютных рынков и изменений в международных торговых соглашениях. Это может стать как барьером, так и стимулом для переориентации потоков и ускоренной модернизации логистических систем.

В ходе исследования были выявлены ключевые тенденции и факторы, влияющие на развитие региональных рынков транспортно-логистических услуг, особенно в странах Восточной Европы и СНГ. Результаты работы показали, что глобальные изменения, такие как геополитическая нестабильность, цифровизация и экологические требования, существенно трансформируют логистическую отрасль, создавая новые вызовы и возможности.

Основным выводом является необходимость модернизации транспортной инфраструктуры и внедрения цифровых технологий для повышения эффективности и гибкости логистических процессов. Важно развивать мультимодальные и альтернативные транспортные коридоры для повышения конкурентоспособности и устойчивости логистических систем.

Предлагается использовать результаты исследования для разработки стратегий модернизации инфраструктуры и внедрения инновационных решений в странах СНГ и Восточной Европы. Это включает создание интеллектуальных транспортных систем, оптимизацию перевозок и снижение экологического воздействия.

Рекомендации по совершенствованию логистических систем включают развитие «зелёной» логистики, переход на экологичные виды транспорта и активное внедрение новых технологий, таких как автоматизация и искусственный интеллект. Также необходимо усилить сотрудничество с международными партнёрами и интеграцию в глобальные логистические цепочки.

Перспективы развития региональных рынков транспортно-логистических услуг зависят от инвестиций в инфраструктуру, адаптации к международным стандартам и использования новых технологий.

Литература

1. Анализ современного положения российских перевозчиков на мировом транспортном рынке / С.Л. Надирян [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 110–116. EDN AQXXPA
2. Барда В.С. Оптимизация маршрутов международных перевозок в современных условиях / В.С. Барда, Е.Д. Вальков, С. Л. Надирян // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XXI Международной научно-технической конференции, Са-

ратов, 27 марта 2026 года. – Саратов : Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 2026. – С. 228–231. EDN LBTWBE
3. Коновалова Т.В. Алгоритм выбора мероприятий по повышению экологической безопасности транспортных потоков / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, В.М. Плаксунова // International Journal of Advanced Studies. – 2024. – Т. 14. – № 4. – С. 83–99. DOI 10.12731/2227-930X-2024-14-4-314 EDN NAPYQW
4. Основные проблемы и пути совершенствования работы транспортной отрасли России в период санкций / С.Л. Надирян [и др.] // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XXI Международной научно-технической конференции, Саратов, 27 марта 2026 года. – Саратов : Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 2026. – С. 250–256. EDN KJXJYK
5. Перспективы развития терминальной системы грузовых перевозок в международном сообщении / Т.В. Коновалова [и др.] // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 4. – С. 83–85. EDN YEZDJC

References

1. Analysis of the current position of Russian carriers in the world transport market / S.L. Nadiryan [et al.] // Science. Technology. Technology (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 110–116. EDN AQXXPA
2. Barda V.S. Optimization of international transport routes in modern conditions / V.S. Barda, E.D. Valkov, S.L. Nadiryan // Topical issues of the organization of road transport, traffic safety and operation of vehicles: Collection of scientific works based on the materials of the XXI International Scientific and Technical Conference, Saratov, March 27, 2026. – Saratov : Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, 2026. – P. 228–231. EDN LBTWBE
3. Konovalova, T.V. Algorithm for choosing measures to improve the environmental safety of traffic flows / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, V.M. Plaksunova // International Journal of Advanced Studies. – 2024. – Vol 14. – № 4. – P. 83–99. DOI 10.12731/2227-930X-2024-14-4-314 EDN NAPYQW
4. The main problems and ways to improve the work of the transport industry in Russia during the sanctions period / S.L. Nadiryan [et al.] // Actual issues of the organization of road transport, traffic safety and operation of vehicles: Collection of scientific works based on the materials of the XXI International Scientific and Technical Conference, Saratov, March 27, 2026. – Saratov : Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, 2026. – P. 250–256. EDN KJXJYK
5. Prospects for the development of a terminal freight transportation system in international traffic / T.V. Konovalova [et al.] // Bulatov readings. – 2025. – Vol. 4. – P. 83–85. EDN YEZDJC

УДК 656.073

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ: ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА И ИНФРАСТРУКТУРА

♦♦♦♦♦

KEY DRIVERS OF REGIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS SERVICES MARKETS: ECONOMICS, POLITICS AND INFRASTRUCTURE

Кабишева В.М.
Кубанский государственный технологический университет

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

Кузьмина М.А.
Кубанский государственный технологический университет

Олифер В.А.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье исследуется совокупность ключевых факторов, определяющих динамику развития региональных рынков транспортно-логистических услуг в современных условиях. Рассматриваются экономические аспекты, включая динамику ВВП и инвестиции в транспортную инфраструктуру в разных странах (Китай, Индия, Казахстан, ЕС, Россия), а также их влияние на конкурентоспособность логистических систем. Особое внимание уделяется политическим и правовым аспектам, таким как санкции, логистическая дипломатия, изменение правовых режимов и бюрократические барьеры. В статье также анализируется инфраструктурное развитие и создание новых транспортных коридоров (Транскаспийский, Северный, Южный) как ответ на геополитические изменения. На основе проведенного анализа делаются выводы о необходимости адаптации логистических систем к новым условиям.

Ключевые слова: инвестиции в инфраструктуру, политические риски, правовое регулирование, транспортные коридоры, геополитика, макроэкономические показатели, логистическая дипломатия.

Kabisheva V.M.
Kuban State Technological University

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

Kuzmina M.A
Kuban State Technological University

Olifer V.A.
Kuban State Technological University

Annotation. The article examines a set of key factors that determine the dynamics of the development of regional markets for transport and logistics services in modern conditions. Economic aspects are considered, including GDP dynamics and investments in transport infrastructure in different countries (China, India, Kazakhstan, EU, Russia), as well as their impact on the competitiveness of logistics systems. Particular attention is paid to political and legal aspects, such as sanctions, logistics diplomacy, changing legal regimes and bureaucratic barriers. The article also analyzes infrastructure development and the creation of new transport corridors (Trans-Caspian, Northern, Southern) as a response to geopolitical changes. Based on the analysis, conclusions are drawn about the need to adapt logistics systems to new conditions.

Keywords: investments in infrastructure, political risks, legal regulation, transport corridors, geopolitics, macroeconomic indicators, logistics diplomacy.

Экономическая стабильность и уровень инвестиций в транспортную инфраструктуру являются ключевыми факторами, определяющими конкурентоспособность логистических систем в международной торговле. В период 2022–2024 гг. на фоне геополитических напряжённостей и изменений в глобальных торговых цепочках, инвестиционные стратегии стран и регионов начали радикально перестраиваться. Основными направлениями стали: обеспечение транспортной независимости, переориентация торговых потоков и развитие альтернативных маршрутов.

Азиатские страны, в особенности Китай, продолжают оставаться лидерами по объёму инвестиций в транспортно-логистическую инфраструктуру. В 2023 году объём прямых государственных вложений Китая в модернизацию портов, железных дорог и сухопутных терминалов превысил 180 млрд долларов. Это стало частью масштабной инициативы «Один пояс – один путь», в рамках которой активно развиваются альтернативные маршруты доставки товаров в Европу – в том числе Транскаспийский маршрут, минующий территорию России и Украины.

Индия, с учётом нарастающей конкуренции с Китаем, инвестирует в развитие коридора «Север – Юг», связывающего её через Иран с Кавказом, Россией и Центральной Азией. Также активно развиваются внутренние грузовые коридоры, логистические парки и цифровизация логистики.

В странах Центральной Азии наблюдается значительное оживление инвестиционной активности в сфере логистики. Казахстан, являясь ключевым узлом Транскаспийского коридора, в 2023 году вложил свыше 2 млрд долларов в развитие железнодорожной инфраструктуры, портов на Каспийском море и мультимодальных логистических центров. Узбекистан, в свою очередь, продолжает модернизацию железнодорожных соединений и расширяет сотрудничество с Китаем и Россией в сфере логистики. Регионы Центральной Азии становятся важнейшим звеном в евразийской транспортной системе.

Экономическая активность в странах ЕС замедлилась из-за инфляционного давления, высоких цен на энергоносители и последствий конфликта в Украине. Тем не менее, логистический сектор остаётся приоритетным направлением для инвестиций. Продолжается реализация масштабных инфраструктурных проектов. Германия, Польша, Нидерланды вкладывают миллиарды евро в развитие железнодорожных и портовых узлов, особенно на восточном направлении. Объём общих инвестиций в логистику в ЕС оценивается в более чем 60 млрд евро за 2023 год.

С начала конфликта в Украине Восточная Европа стала ключевым транзитным регионом между ЕС и постсоветским пространством. Польша, Румыния и Словакия расширяют инфраструктуру для поддержки поставок в Украину, а также частично замещают маршруты, ранее проходившие через Россию. Основное внимание уделяется модернизации железных дорог, портов и пограничных пунктов. В 2023 году ЕС выделил свыше 2 млрд евро на развитие этих направлений. Регион также стал привлекательным для инвестиций в логистику и склады, особенно в Польше и Чехии, в рамках переориентации от китайских производственных цепочек. Восточная Европа укрепляет свою роль как адаптивный и быстроразвивающийся логистический узел на фоне геополитических сдвигов.

На фоне западных санкций Россия переориентирует внешнеэкономические и инвестиционные потоки в сторону Востока и Юга. В 2023 году экономика РФ показала рост ВВП на уровне 3,5 % после предыдущего спада, что сопровождалось увеличением государственных вложений в развитие внутренней логистики. Наибольший акцент сделан на развитие железнодорожной инфраструктуры в Сибири и на Дальнем Востоке (включая БАМ и Транссиб), модернизацию портов на Тихом океане и развитие Северного морского пути (СМП). Общий объём инвестиций в транспортно-логистическую сферу оценивается в 15–18 млрд долларов за 2023 год.

В таблице 1 представлены макроэкономические показатели по регионам.

Таблица 1 – Макроэкономические показатели по регионам

Регион	Рост ВВП, %	Инвестиции в логистику, млрд долларов	Комментарий
Китай	5,2	Более 140	Порты, ЖД, Новый Шелковый путь
Индия	6,1	40	Север-Юг
Казахстан	4,9	Более 2	ТИТР, порты, ЖД
ЕС (в целом)	0,6	Более 60	Инфраструктурные проекты
Восточная Европа	1,9	8	Порты, ЖД, склады
Россия	3,5	18	Восточные коридоры, порты, Северный морской путь

Экономические факторы, включая рост ВВП и объёмы инвестиций в логистику, напрямую влияют на развитие международных перевозок. В 2023 году лидерами по вложениям стали Китай и Индия, активно развивающие транспортную инфраструктуру в рамках своих глобальных инициатив. В условиях меняющейся геополитики инвестиции стали ключевым инструментом обеспечения устойчивости и гибкости глобальных логистических цепочек.

Политическая обстановка в мире оказывает существенное влияние на развитие и функционирование международной логистики. С начала конфликта в Украине геополитические противоречия привели к масштабной перестройке транспортных маршрутов, введению санкций и ограничению доступа к отдельным рынкам. Европейский Союз, США и ряд других стран ввели санкции против России, включая запрет на перевозку определённых видов грузов, закрытие портов и ограничение воздушного и железнодорожного транзита.

В ответ Россия начала переориентацию внешнеэкономических связей в сторону Азии, Ближнего Востока и стран БРИКС, что вызвало рост интереса к альтернативным маршрутам – таким как Северный морской путь, Транскаспийский маршрут и коридор «Север – Юг». Эти политические сдвиги напрямую повлияли на структуру глобальных логистических цепочек, снизили зависимость от западных направлений и усилили значение регионального сотрудничества.

На фоне этого усиливается роль «логистической дипломатии»: страны Центральной Азии, Кавказа и Турции становятся посредниками и новыми транзитными узлами. Также наблюдается усиление государственного контроля над стратегической логистической инфраструктурой и транспортной безопасностью – как в странах ЕС, так и в России и Китае.

Отдельной проблемой является различность правовых режимов в разных странах. Международные перевозки регулируются обширной системой нормативно-правовых актов, охватывающих как национальные законодательства, так и международные соглашения. Одним из ключевых вызовов последних лет стало ужесточение правовых режимов в связи с санкциями, экспортным контролем и ограничениями на транзит грузов. Эти меры особенно затронули Россию, Беларусь и их торговых партнёров, повлияв на доступ к европейским и американским логистическим каналам.

Ряд международных конвенций продолжает действовать – таких как Конвенция о международной перевозке грузов (CMR), Конвенция о морской перевозке, договоренности в рамках ЕАЭС и т.п. Однако в условиях геополитической напряжённости соблюдение единых стандартов осложняется, а отдельные страны усиливают контроль за стратегическими товарами и логистическими операциями.

Также наблюдается рост бюрократической нагрузки: ужесточение таможенных процедур, сертификационных требований, необходимость двойной документации при пересечении санкционных или нестабильных регионов. В то же время в рамках новых торговых союзов развивается собственная договорная база, упрощающая перевозки в обход западной нормативной системы.

Таким образом, политические и правовые аспекты становятся неотъемлемой частью логистических рисков, требующих высокой адаптивности со стороны перевозчиков и экспортеров, а также постоянного мониторинга изменений в мире и национальном праве.

Развитие транспортной инфраструктуры остаётся одним из ключевых факторов стабильности и эффективности международных перевозок. В последние годы на фоне глобальных вызовов – конфликта в Украине, санкционных ограничений и переориентации торговых потоков – активизировалась модернизация как существующих маршрутов, так и создание альтернативных транспортных коридоров.

Европейский союз продолжает реализацию программы, направленной на формирование единой трансъевропейской транспортной сети. Особое внимание уделяется восточному направлению – модернизации железных дорог и портов Польши, Румынии и стран Балтии, которые стали важными логистическими точками для грузопотоков, связанных с Украиной.

Центральная и Восточная Европа играют всё более значимую роль как буферные зоны между ЕС и восточными странами. Реализуются проекты по модернизации трансграничной логистики, а также наращиваются мощности складов и терминалов на новых маршрутах.

Россия, в условиях ограниченного доступа к западным маршрутам, сосредоточила усилия на развитии восточной логистики. Основные инвестиции направлены на

расширение Транссибирской магистрали, Байкало-Амурской магистрали (БАМ), портов Дальнего Востока и Северного морского пути. Также развивается мультимодальный транспорт через Каспийское море и Южный коридор (Иран – Каспий – Россия).

Китай и страны Азии продолжают инвестировать в логистику в рамках инициативы «Один пояс – один путь», создавая новые маршруты доставки в Европу в обход нестабильных зон. Особое значение приобрёл Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТИТР), соединяющий Китай, Казахстан, Каспийское море, Азербайджан, Грузию и Турцию с выходом на ЕС.

Основные транспортные коридоры 2025 г. представлены на рисунках с 1–3.



Рисунок 1 – Транскаспийский транспортный коридор



Рисунок 2 – Северный транспортный коридор

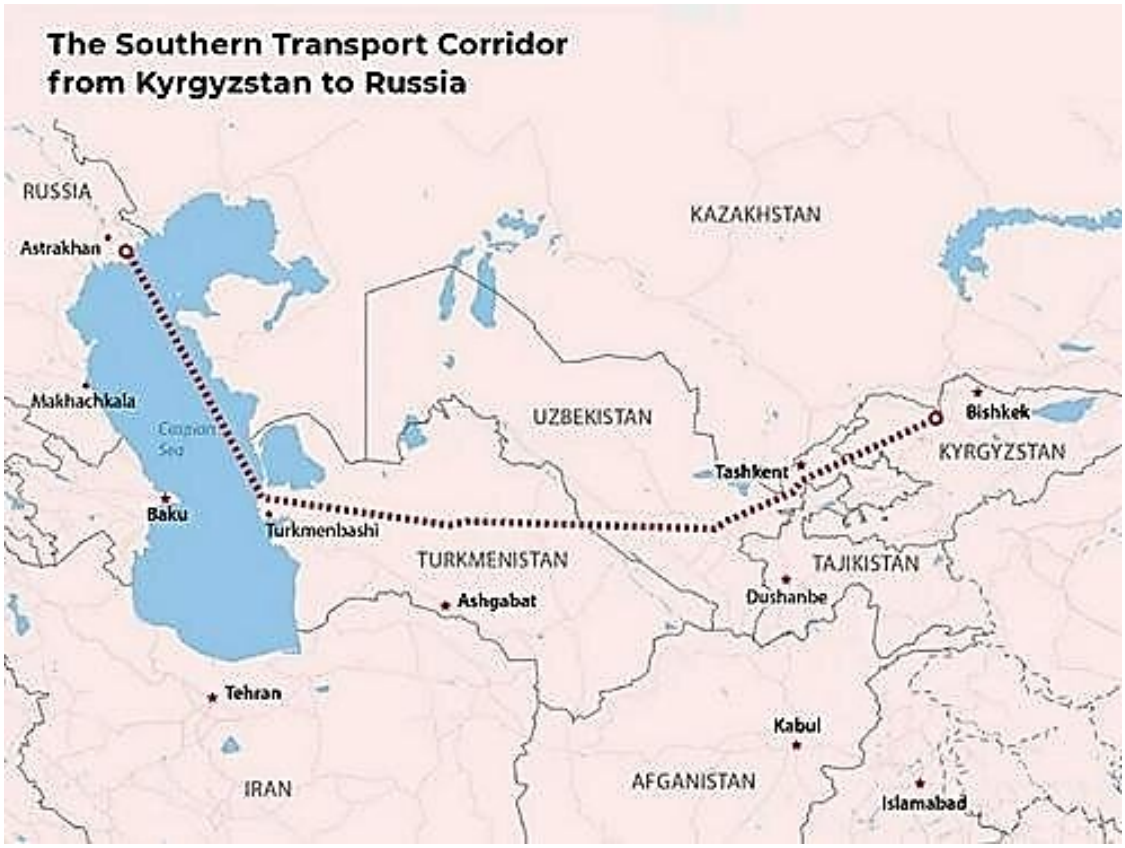

Рисунок 3 – Южный транспортный коридор

Развитие инфраструктуры сопровождается цифровизацией логистики: внедряются интеллектуальные системы управления грузопотоками, автоматизированные склады и терминалы, электронные таможенные и транзитные платформы. Это позволяет повысить скорость и прозрачность перевозок на фоне растущих геополитических и регуляторных рисков.

Инфраструктурное развитие в 2023–2025 гг. направлено не только на модернизацию, но и на геостратегическое переосмысление логистики, где ключевым становится устойчивость и гибкость транспортных коридоров.

Литература

1. Векторы инновационного развития транспорта в условиях перехода к цифровой экономике / А.А. Чумак [и др.] // Тенденции и перспективы инновационного развития цифровой экономики: Материалы I международной научно-практической конференции, Душанбе, 08–09 апреля 2026 года. – Душанбе: Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, 2026. – С. 150–154. EDN OLTBND
2. Коновалова Т.В. Технология блокчейн в транспортной логистике / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, В.М. Плаксунова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 70–72. EDN MSQLNQ
3. Международный транспортный коридор «Север-Юг» и формирование его грузовой базы / А.В. Власова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 31–35. EDN ITZCDX
4. Определение перспективной интенсивности транспортных средств для моделирования транспортных потоков / В.О. Архипов [и др.] // Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего: материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 07–09 октября 2025 года. – Краснодар : Индивидуальный предприниматель Кабанов Виктор Болеславович (Издательство «Новация»), 2025. – С. 134–140. EDN LWUTYK
5. Основные тенденции развития и направления совершенствования терминальной системы грузовых перевозок в международном сообщении / М.А. Кузьмина [и др.] // Актуальные во-

просы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств : Сборник научных трудов по материалам XX Международной научно-технической конференции, Саратов, 24 июня 2025 года. – Саратов : Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 2025. – С. 141–147. EDN GADGCU

References

1. Vectors of innovative development of transport in the context of the transition to the digital economy / A.A. Chumak [et al.] // Trends and prospects of innovative development of the digital economy: Materials of the I International Scientific and Practical Conference, Dushanbe, 08–09 April 2026. – Dushanbe : Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, 2026. – P. 150–154. EDN OLTBND
2. Konovalova T.V. Blockchain technology in transport logistics / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, V.M. Plaksunova // Science. Technology. Technology (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 70–72. EDN MSQLNQ
3. The international transport corridor «North-South» and the formation of its cargo base / A.V. Vlasova [et al.] // Science. Technology. Technology (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 31–35. EDN ITZCDX
4. Determination of the prospective intensity of vehicles for modeling traffic flows / V.O. Arkhipov [et al.] // Integrated transport solutions: challenges of our time and prospects for the future: materials of the International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, October 07–09, 2025. – Krasnodar : Individual entrepreneur Kabanov Viktor Boleslavovich (Novatsiya Publishing House), 2025. – P. 134–140. EDN LWUTYK
5. The main trends in the development and directions of improving the terminal system of freight transportation in international traffic / M.A. Kuzmina [et al.] // Actual issues of the organization of road transport, traffic safety and operation of vehicles: Collection of scientific works based on the materials of the XX International Scientific and Technical Conference, Saratov, June 24, 2025. – Saratov : Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, 2025. – P. 141–147. EDN GADGCU

УДК 656.073

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИФРОВОГО РАСПИСАНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАРШРУТНОЙ СЕТИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЙОНОВ С РАЗНОЙ ДОЛЕЙ ЭКОЛОГИЧНОГО ТРАНСПОРТА

♦♦♦♦♦

THE IMPACT OF THE ACCURACY OF DIGITAL SCHEDULES ON THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE ROUTE NETWORK: A COMPARATIVE ANALYSIS OF AREAS WITH DIFFERENT SHARES OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TRANSPORT

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

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

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье авторы рассматривают влияние точности цифрового расписания на экологическую эффективность маршрутной сети на примере двух районов Краснодара с разной долей экологичного транспорта. Проведён сравнительный анализ маршрута № 2Е с электробусами и маршрута № 186б с дизельными автобусами. Установлено, что внедрение систем точного расписания на базе ГЛОНАСС/GPS даёт наибольший экологический эффект в районах с дизельным парком (снижение выбросов CO_2 до 22 %), тогда как для электробусов этот эффект минимален. Сформулированы приоритеты цифровизации городского транспорта с учётом состава подвижного состава.

Ключевые слова: цифровое расписание, экологическая эффективность, электробусы, дизельные автобусы, ГЛОНАСС/GPS, маршрутная сеть, Краснодар, точность движения, городской транспорт.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

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

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors consider the impact of digital schedule accuracy on the environmental efficiency of the route network using the example of two districts of Krasnodar with different shares of environmentally friendly transport. A comparative analysis of route № 2E with electric buses and route № 186б with diesel buses was carried out. It was found that the implementation of precise scheduling systems based on GLONASS/GPS provides the greatest environmental effect in areas with diesel fleet (reduction of CO_2 emissions up to 22 %), while for electric buses this effect is minimal. Priorities for digitalization of urban transport are formulated taking into account the composition of the rolling stock.

Keywords: digital schedule, environmental efficiency, electric buses, diesel buses, GLONASS/GPS, route network, Krasnodar, motion accuracy, urban transport.

Современные городские агломерации сталкиваются с двойным вызовом: обеспечением мобильности населения и снижением воздействия транспорта на окружающую среду. В Краснодаре приоритетом последних лет является обновление парка: за пять лет в муниципалитеты поступило 32 электробуса и 266 автобусов на газомоторном топливе. В феврале 2024 года на маршрут № 2Е вышли 16 электробусов «Волгабас 5270Е» с зарядными станциями.

Однако техническое обновление требует больших инвестиций. Альтернативный инструмент – цифровизация управления: системы точного расписания на базе ГЛОНАСС/GPS и «умные перекрестки».

Актуальность – в обосновании приоритетов цифровизации с позиций реального экологического эффекта в районах с разным уровнем экологичности парка.

Объект исследования – маршрутная сеть Краснодара (Район А: маршрут № 2Е с электробусами; Район Б: маршрут № 186б с дизельными ПАЗ).

Предмет – зависимость между точностью расписания и удельными выбросами (CO_2, NOx).

Цель – определить, где внедрение точного расписания даёт максимальный экологический эффект.

Задачи:

1. Проанализировать структуру парка в разных районах.
2. Собрать данные о точности расписания (отклонения от графика).
3. Рассчитать удельные выбросы для разных типов ТС.
4. Провести сравнительный анализ.
5. Сформулировать рекомендации.

Особенности транспортной системы Краснодарской агломерации

Краснодар - город с развитой транспортной инфраструктурой. Основные транспортные коридоры сходятся к центру, создавая перепады загрузки в часы пик. Новые жилые массивы формируются на периферии, что порождает маятниковые миграции.

В 2024 году в Краснодаре запущены 16 электробусов по центральному маршруту 2Е. Это создало прецедент для сравнения экологической эффективности цифровых систем управления на разных типах подвижного состава.

Характеристика районов сравнения

Выбраны два района, контрастных по составу парка, но сопоставимых по пассажиропотоку.

Район А (высокая доля экотранспорта):

- Маршрут № 2Е (центр, туристическая зона);
- Подвижной состав: электробусы «Волгабас 5270Е» (16 ед., 2024 г.);
- Оснащение: низкопольные, кондиционеры, USB, валидаторы, табло;
- Экологический эффект: замена одного дизельного автобуса на электробус снижает выбросы CO_2 на 60 т в год.

Район Б (низкая доля экотранспорта):

- Маршрут № 186б (пос. Лазурный – центр);
- Подвижной состав: дизельные ПАЗ 3205/4234, экокласс Евро-5;
- Расход топлива: 21–24 л/100 км;
- Отсутствие выделенных полос, светофоры без приоритета для ОТ.

Сравнительная характеристика районов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика районов

Показатель	Район А (№ 2Е)	Район Б (№ 186б)
Тип подвижного состава	Электробусы «Волгабас 5270Е»	Дизельные ПАЗ Евро-5
Доля экотранспорта	100 % (маршрут)	0 %
Год выпуска парка	2024	2014–2018
Расход топлива	~1,5 кВт·ч/км	21–24 л/100 км
Выделенные полосы	Есть (частично)	Нет
Адаптивные светофоры	Есть	Нет

Результаты анализа влияния точности расписания на экологические показатели показан в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели работы маршрутов

Показатель	Район А (электробусы)	Район Б (дизель)
Среднее отклонение от расписания	1,5–2,0 мин	6,8 мин
Коэффициент регулярности	~95 %	78 %
Выбросы CO_2 (г/км)	0 (локально)	~312 г/км (расчёт по расходу 22 л/100 км × 2,68 кг CO_2/л)
Количество резких разгонов за рейс	8–10	31
Средняя скорость, км/ч	21–23	17,2

Анализ проведён на основе данных исследования маршрута № 186б в научной работе «Социальные аспекты оценки эффективности применения брутто-контрактов в

отношении пригородных автобусных маршрутов в городских агломерациях» и открытых данных по электробусам. Оценивались: точность расписания (отклонение от графика, мин), удельный расход топлива/энергии, выбросы CO_2.

Выводы:

1. Район А (электробусы): увеличение отклонения с 1 до 5 мин ведёт к росту выбросов (на электростанциях) всего на 4–5 % за счёт рекуперации. Экологический эффект от точности расписания минимален. Главная ценность электробусов – снижение выбросов на 60 т CO_2 в год на каждом автобусе.

2. Район Б (дизель): увеличение отклонения с 1 до 5 мин даёт рост выбросов на 18–22 % (с 256 до 312 г/км). При расходе 24 л/100 км перерасход в пиковых режимах достигает 15 %.

3. Ключевой вывод: абсолютное снижение выбросов при внедрении точного расписания в Районе Б – ~56 г/км, в Районе А – ~7 г/км. Эффект в районе с дизелями в 8 раз выше.

Рекомендации:

1. Приоритет 1 – Спальные районы с дизельным парком. Внедрение ГЛОНАСС-контроля и диспетчеризации даёт экологический эффект, сопоставимый с обновлением 20–30 % парка. Снижение выбросов на 18–22 % достигается без замены ТС.

2. Приоритет 2 – Смешанные зоны. Требуется дифференцированный подход: жёсткое расписание для дизелей, гибкое – для электробусов.

3. Приоритет 3 – Районы с электробусами. Цифровизация здесь важна для комфорта, экологическая значимость невысока.

Социально-экологический эффект:

- снижение выбросов на 8–10 % по сети без замены парка;
- улучшение воздуха в спальных районах;
- повышение регулярности → рост доверия к ОТ → отказ от личных авто.

Исследование показало, что экологическая эффективность точного расписания зависит от состава парка. Наибольший эффект – в районах с дизельными автобусами (снижение выбросов до 22 %). С учётом того, что замена одного дизельного автобуса на электробус снижает выбросы на 60 т CO_2 в год, а внедрение «умных перекрёстков» даёт дополнительный эффект, приоритетом цифровизации должны стать маршруты с устаревшим парком.

Комплексный подход – сочетание обновления парка на электробусы (уже 16 ед. на маршруте 2Е) и цифровизации управления на «грязных» маршрутах – даст максимальный экологический эффект для Краснодара.

Литература

1. Экологическая безопасность автотранспорта Российской Федерации: стандарты, проблемы и пути решения / В.С. Барда [и др.] // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств: Сборник научных трудов по материалам XXI Международной научно-технической конференции, Саратов, 27 марта 2026 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2026. – С. 298–301. EDN IOUZAQ
2. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций / Д.А. Дрючин [и др.]. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2024. – 178 с. EDN MFYPOR
3. Коновалова Т.В. Оптимизация маршрутной сети электротранспорта в условиях развития транспортной системы городов / Т.В. Коновалова, А.О. Кудряшов, С.Л. Надирян // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2025. – № 5. – С. 45–54. DOI 10.26297/2312-9409.2025.5.3 EDN BUOGKV
4. Изюмский А.А. Проблемы внедрения легкового электротранспорта в Краснодарском крае / А.А. Изюмский, И.Н. Котенкова, С.Л. Надирян // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Т. 15. – № 2. – С. 217–228. DOI 10.12731/2227-930X-2025-15-2-368 EDN CRZFNC

References

1. Environmental safety of motor transport in the Russian Federation: standards, problems, and solutions / V.S. Barda [et al.] // Current issues in the organization of road transport, traffic safety,

and vehicle operation: Collection of scientific papers based on the materials of the XXI International Scientific and Technical Conference, Saratov, March 27, 2026. – Saratov : Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarina, 2026. – P. 298–301. EDN IOUZAQ
2. Optimization of the number of vehicles serving regular routes in urban agglomerations / D.A. Dryuchin [et al.]. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2024. – 178 p. EDN MFYPOR
3. Konovalova T.V. Optimization of the route network of electric transport in the context of the development of urban transport systems / T.V. Konovalova, A.O. Kudryashov, S.L. Nadiryan // Electronic network multidisciplinary journal «Scientific Works of KubSTU». – 2025. – № 5. – P. 45–54. DOI 10.26297/2312-9409.2025.5.3 EDN BUOGKV
4. Izyumsky A.A. Problems of introducing passenger electric vehicles in the Krasnodar Territory / A.A. Izyumsky, I.N. Kotenkova, S.L. Nadiryan // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Vol. 15. – № 2. – P. 217–228. DOI 10.12731/2227-930X-2025-15-2-368 EDN CRZFNC

УДК 656.073

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF RESEARCH IN THE FIELD OF ORGANIZING PASSENGER TRANSPORTATION USING VARIOUS MODES OF TRANSPORT IN CITIES

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

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

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Чумак А.А.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье авторы проводят аналитический обзор научных исследований в области организации городских пассажирских перевозок различными видами транспорта. Рассмотрены подходы к интеграции транспортно-пересадочных узлов в городскую инфраструктуру, вопросы применения интеллектуальных транспортных систем, методы моделирования пассажиропотоков и оценки качества транспортного обслуживания. На основе анализа трудов отечественных и зарубежных авторов определены основные принципы повышения эффективности перевозочного процесса: сокращение времени перемещения, повышение регулярности и надёжности, снижение негативного влияния на окружающую среду. Сформулированы базовые условия для создания конкурентоспособной и инновационной системы регулярных перевозок пассажиров.

Ключевые слова: организация перевозок, пассажирский транспорт, транспортно-пересадочные узлы, интеллектуальные транспортные системы, пассажиропотоки, моделирование транспортных процессов, качество обслуживания, городская мобильность.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

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

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Chumak A.A.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors conduct an analytical review of scientific research in the field of urban passenger transportation organization by various modes of transport. Approaches to the integration of transport hubs into urban infrastructure, issues of applying intelligent transport systems, methods for modeling passenger flows and assessing the quality of transport services are considered. Based on the analysis of works by Russian and foreign authors, the main principles for improving the efficiency of the transportation process are identified: reducing travel time, increasing regularity and reliability, and reducing negative environmental impact. The basic conditions for creating a competitive and innovative system of regular passenger transportation are formulated.

Keywords: transportation organization, passenger transport, transport interchange hubs, intelligent transport systems, passenger flows, modeling of transport processes, service quality, urban mobility.

Организация городского пассажирского транспорта – это комплекс мероприятий, целью которых является создание условий для благоприятного передвижения населения. Координация развития и взаимодействие различных видов транспорта в городах направлены на удовлетворение потребностей населения в перевозках, эффективного использования подвижного состава при минимальных транспортных расходах, а также на улучшение качества транспортного обслуживания.

Организация пассажирских перевозок в современном мире является одной из важнейших и востребованных услуг, оказываемой не только в крупных и экономически развитых городах, но и даже в самых отдалённых участках нашей страны. Модель и типология транспортно-пересадочного узла представлены на рисунках 1–2.

Стремительные темпы развития городов заставляет население быть более мобильными. Транспортно-пересадочные узлы, в свою очередь, направлены на решение проблем скорости перемещения пассажиров как в городе, так и в регионе.

Современные транспортно-пересадочные узлы предполагает координированную работу различных видов транспорта для обеспечения комфорта при осуществлении перевозочных процессов.

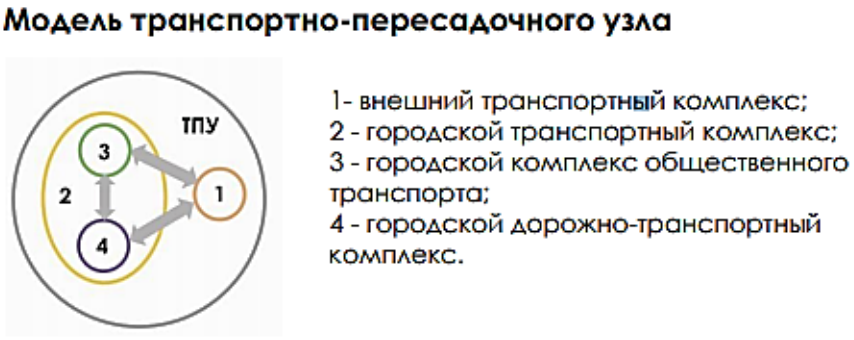

Рисунок 1 – Модель транспортно-пересадочного узла

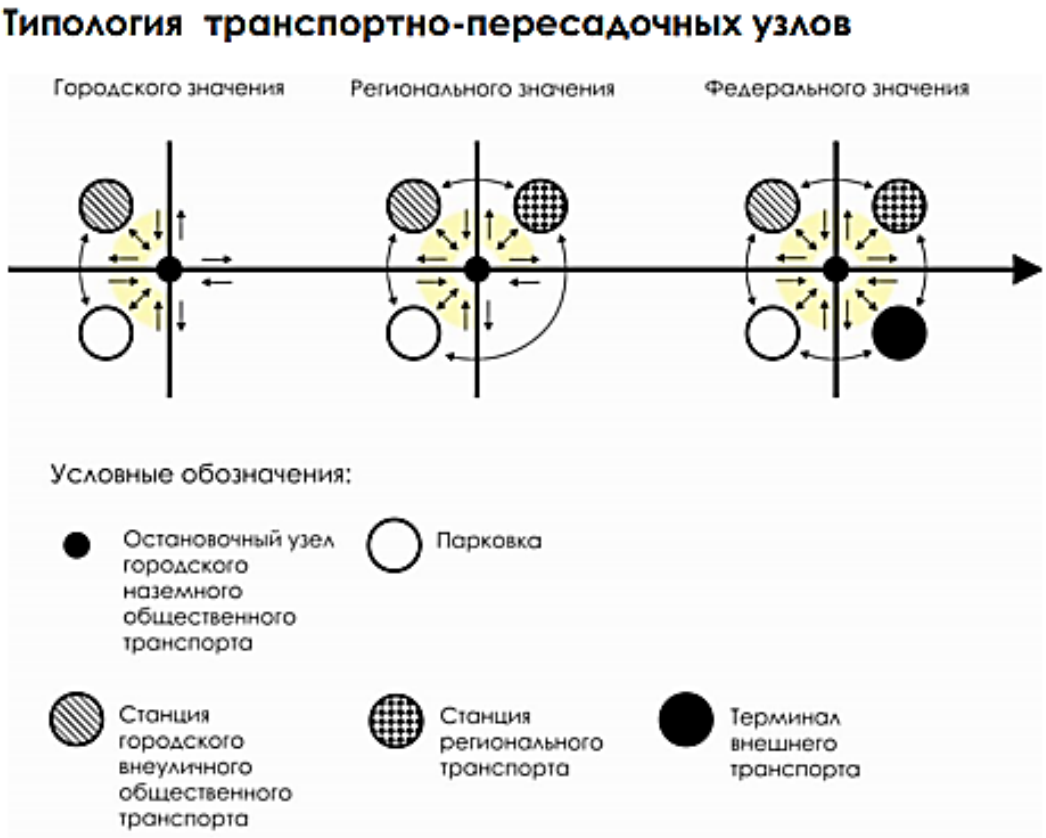

Рисунок 2 – Типология транспортно-пересадочных узлов

При анализе достаточно большого количества научных работ в данном направлении определяются основные принципы интегрирования транспортных хабов в городскую жизнь.

Так, например, П.И. Лошаков в своих трудах рассматривал значимость интеграции ТПУ в транспортную систему городской инфраструктуры. В ходе исследования проводился опрос среди населения, по результатам которого определено, что большинство среди респондентов оценили общее значение ТПУ как благоприятное. Также в ходе данного опроса был определен наиболее важный фактор при проектирование транспортно-пересадочного узла для населения, который заключается грамотном построении работы между собой различных объектов, входящих в состав ТПУ.

С.П. Вакуленко в своей работе «Планировочная структура транспортно-пересадочных узлов» выделяет минимизацию затрат времени на пересадку как главную цель рациональной планировки ТПУ. Фактор времени является одним из основополагающих при планировании поездок на различном виде транспорта, поэтому для снижения затрачиваемого времени необходимо увеличивать скорость сообщения транспорта общего пользования путем сооружения дополнительных полос и развязок на автомобильных дорогах, обособленных линии городского электрического транспорта.

В работе И.Б. Волкодаевой рассматриваются предпосылки для создания качественной системы транспортно-пересадочных узлов в городской среде. Главным фактором для внедрения ТПУ автор рассматривает отказ от пользования личным транспортом, что в свою очередь способствует снижению загруженности автомобильных дорог и уровня негативного влияния на окружающую среду. Добиться поставленной цели возможно за счет повышения привлекательности и конкурентоспособности транспорта общего пользования.

В статье А.В. Гузенко «Формирование современных систем управления городским пассажирским транспортом на принципах логистики» рассмотрены вопросы формирования эффективной системы управления городским пассажирским транспортом на основе применения интеллектуальных транспортных систем. Проанализирован зарубежный опыт, соотнесены интересы различных подсистем и обеспечивающие информационные и технические средства управления и регулирования. Автор утверждает, что при организации работы пассажирского транспорта необходимо применять системный подход, который дает возможность формирования эффективных показателей на выходе системы, таких как:

– снижение времени перемещений;

– повышение экономических показателей работы компаний, обеспечивающих перевозку пассажиров;

– снижение общесистемных потерь.

Одним из перспективных направлений в области городских систем пассажирского транспорта Гузенко А.В. считает возможность использования интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые синтезируют возможности моделей транспортных систем и транспортных потоков для повышения эффективности взаимодействия участников дорожного движения, а также обеспечения их информативности и безопасности.

Я. Цибулка в работе «Качество пассажирских перевозок в городах» провел масштабные аналитические исследования затрат времени населения на поездку городским пассажирским и личным транспортом. При этом автор изучал не объем и структуру пассажиропотоков, а скорее поведение пассажиров при выборе вида транспорта. В работе сформированы закономерности распределения пассажиропотоков в зависимости от затрат времени на поездку и от ее дальности, проработаны варианты выбора средств передвижения населением и теоретические функции моделирования их выбора. Кроме того, автором была определена степень относительной значимости отдельных характеристик комфорта в системе городского пассажирского транспорта, таких как: регулярность и надежность, ожидание транспорта, пересадки, шум, пассажирское место, защита от погодных явлений, доступность остановочных пунктов, микроклимат в транспортном средстве.

Для определения пассажиропотоков в ТПУ Н.Ю. Евреенова в своем исследовании использует три метода проведения обследований пассажиропотоков: отчетно-статистический, анкетный и натурный (видеофиксация, визуальный). При помощи указанных методов перед исследователем появляются данные пассажиропотоков по территории транспортно-пересадочного узла. При этом натурный метод позволяет отследить по направлению и времени перемещения категорию пассажиропотока (пассажиры пригородных, дальних или высокоскоростных поездов), но только анкетный метод позволяет получить данные обо всем маршруте следования пассажира. Однако анкетный метод требует большого объема выборки для ее репрезентативности и возможности отнесения данных об опрошенных пассажирах на весь пассажиропоток.

В работах В.В. Доенина «Интеллектуальные транспортные потоки» и «Логико-разностные модели транспортных процессов» описан подход к созданию системы формализованных моделей и методики моделирования дискретных массовых потоков, особенностью которых является то, что каждый их элемент самостоятельно выбирает логику управления своим движением. Также автором предложены математические модели, позволяющие описывать и анализировать как дискретные, так и непрерывные транспортные процессы, управляемые с помощью логических операторов.

В работе «Динамическая логистика транспортных процессов» автора приведены методы описания взаимодействующих параллельных процессов перемещения объектов различного рода в распределенных системах какого-либо вида. Приведен опыт практического применения предлагаемых моделей для экспертизы качества транспортных процессов на метрополитене, наземном городском транспорте и пересадочных узлах.

В работе «Моделирование транспортных процессов и систем» предложен аналитический аппарат для описания и исследования поведения изучаемых объектов в динамических процессах передвижения по транспортным сетям с учетом возмущающих воздействий внешней среды и изменяющихся условий реализации перевозок. Работы В.В. Доенина внесли значительный вклад в теоретические исследования в сфере моделирования работы транспортных систем, но не решают проблему организации пассажиропотока.

Для создания эффективной, конкурентоспособной и инновационной системы организации регулярных перевозок пассажиров и багажа требуется достижение нескольких базовых условий:

– предоставление конкурентоспособных высококачественных транспортных услуг;

– создание высокопроизводительных безопасных транспортных средств и транспортной инфраструктуры, которые необходимы в той мере, в которой они обеспечат конкурентоспособные высококачественные транспортные услуги;

– создание условий для превышения уровня предложения транспортных услуг над спросом;

– применение инновационных технологий в управлении транспортом;

– усиление требований к экологичности и энергоэффективности развития транспорта.

Литература

1. Коновалова Т.В. Совершенствование организации пассажирских перевозок на примере маршрута № 61 г. Краснодара / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, В.М. Плаксунова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 62–65. EDN YKMXEO
2. Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта / Т.В. Коновалова [и др.] // Мир транспорта. – 2024. – Т. 22. – № 2(111). – С. 70–80. DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-2-7 EDN KLOOOT
3. Роль транспорта общего пользования в формировании социальной сферы городских территорий / Д.А. Дрючин [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 2. – С. 29–32. EDN AXFXLP
4. Пассажирский транспорт как элемент городской инфраструктуры (на примере г. Краснодара) / Т.В. Коновалова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 3. – С. 62–68. EDN RZSQWW
5. Цифровизация пассажирского транспорта в ЮФО: проблемы и перспективы / И.Б. Петров [и др.] // Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего: материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 07–09 октября 2025 года. – Краснодар : Индивидуальный предприниматель Кабанов Виктор Болеславович (Издательство «Новация»), 2025. – С. 483–495. EDN AXRRVK

References

1. Konovalova T.V. Improving the organization of passenger transportation using the example of route № 61 in Krasnodar / T.V. Konovalova [et al.] // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 62–65. EDN YKMXEO

2. Methodology for ensuring priority conditions for the movement of urban passenger transport / T.V. Konovalova [et al.] // World of Transport. – 2024. – Vol. 22. № 2(111). – P. 70–80. DOI: 10.30932/1992-3252-2024-22-2-7 EDN KLOOOT
3. The role of public transport in shaping the social sphere of urban areas / D.A. Dryuchin [et al.] // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 2. – P. 29–32. EDN AXFXLP
4. Passenger transport as an element of urban infrastructure (using the example of the city of Krasnodar) / T.V. Konovalova [et al.] // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 3. – P. 62–68. EDN RZSQWW
5. Digitalization of passenger transport in the Southern Federal District: problems and prospects / I.B. Petrov [et al.] // Integrated Transport Solutions: Challenges of the Present and Prospects for the Future: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, October 7–9, 2025. – Krasnodar : Individual Entrepreneur Kabanov Viktor Boleslavovich (Publishing House «Novatsiya»), 2025. – P. 483–495. EDN AXRRVK

УДК 656.073

МЕТОДЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В ГОРОДА

♦♦♦♦♦

METHODS FOR LOCATING TRANSPORT HUBS WITHIN CITIES

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

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

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Чумак А.А.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье авторы рассматривают методы размещения транспортно-пересадочных узлов в городской среде. Проанализированы градостроительные факторы, влияющие на выбор местоположения ТПУ, а также подходы отечественных учёных к решению данной задачи. Определены основные показатели, учитываемые при планировании размещения узлов, и этапы проектирования. Обоснована необходимость интеграции ТПУ в генеральные планы развития городов для повышения транспортной доступности и снижения нагрузки на улично-дорожную сеть.

Ключевые слова: транспортно-пересадочные узлы, размещение ТПУ, градостроительное планирование, пассажиропотоки, транспортная инфраструктура, городская мобильность.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

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

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Chumak A.A.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors consider methods for locating transport interchange hubs in the urban environment. The urban planning factors influencing the choice of TIH location, as well as the approaches of Russian scientists to solving this problem, are analyzed. The main indicators taken into account when planning the placement of hubs and the design stages are determined. The necessity of integrating TIH into master plans for urban development to improve transport accessibility and reduce the load on the road network is substantiated.

Keywords: transport interchange hubs, TIH location, urban planning, passenger flows, transport infrastructure, urban mobility.

Создание транспортно-пересадочных узлов в развивающихся городах является чрезвычайно важной и неотъемлемой частью планирования территориальной застройки городов, так как при нарастающем уровне численности населения появляется необходимость в быстрой и доступной транспортной мобильности. Реализация мероприятий, направленных на повышение качества транспортных услуг, увеличения привлекательности городского транспорта общего пользования, сокращение среднего времени на поездку, обеспечение транспортной доступности, а также на снижение негативного влияния на окружающую среду, возможна за счет создания системы транспортно-пересадочных узлов. В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года перечисленные мероприятия являются одними из главных.

Для необходимой эффективности работы транспортно-пересадочного узла важно грамотно определить место его размещения. Задача выбора количества и мест размещения хабов рассматривалась отечественными учеными. Так, например, Д.Н. Власов в своих трудах предлагал использование квалиметрии для определения приоритетных, первоочередных пересадочных узлов. Автор отмечает ряд градостроительных факторов, которые влияют на выбор места строительства хабов с учетом обеспечения экологичного устойчивого развития среды города.

Профессор Е.М. Лобанов выделяет автомобилизацию, как одну из главных транспортных проблем. Долгое время в нормах по проектированию улично-дорожной сети было заложено значение 60 автомобилей на 1000 жителей. Эксперты агентства

«Автостат» установили, что на 1 января 2026 г. средний уровень автомобилизации в Российской Федерации составляет 331 автомобилей на 1000 жителей. В Южном федеральном округе этот показатель составляет 339 авто / 1000 жителей. В связи с этим выделяются следующие недостатки:

– низкая пропускная способность улично-дорожной сети в городах;

– отсутствие внедрения инновационных методов и технических средств организации дорожного движения;

– отсутствие согласованной работы в транспортном обслуживании различных зон агломерации (городской, пригородной, рекреационной);

– недостаточная развитость магистральных и местных улиц на улично-дорожной сети.

Е.М. Лобанов выносит предложения по обновлению и совершенствовании норм проектирования, а также уделить должное внимание развитию транспорта общего пользования, так как именно его грамотно организованная работа способна снизить нагрузку на автомобильные дороги города.

С.А. Ваксман в своей статье «Транспортные системы городов второго десятилетия XXI века» рассматривает проблемы стадийности проектирования транспортных систем городов. Ваксман утверждает, что нормативные документы в области развития транспортной инфраструктуры городов, утвержденные правительством, не увязаны с решениями градостроительных проектов.

Помимо этого, автор рассматривает реформы в сфере маршрутизации пассажирского транспорта в крупных и крупнейших городах. В связи с отсутствием средств для развития и поддержания городского пассажирского транспорта общего пользования, муниципалитеты пошли по пути привлечения, так называемых, маршрутных такси для обеспечения пассажирских перевозок, что привело к быстрому и почти бесконтрольному формированию автобусной сети маршрутов с подвижным составом малой вместимости. А позже были привлечены специалисты, которые стали решать эту проблему путем дублирования маршрутов и их частей.

Работа Е.П. Локтева «Закономерности формирования спроса на пассажирские перевозки в пригородном сообщении» посвящена анализу факторов, оказывающих влияние на формирование пригородных пассажиропотоков. Разработанная автором система показателей позволяла определить размеры пассажиропотоков между населенными пунктами в зависимости от целей поездок пассажиров, однако данная система не учитывала зависимость многообразия целей поездки в зависимости от сезона года, времени суток и других факторов.

Транспортно-пересадочные узлы неотъемлемая часть современной транспортной инфраструктуры. Для комфортного передвижения по городу важно не только осуществить строительство новых или реконструкцию уже существующих автомобильных дорог, прокладку линий городского электрического наземного транспорта или строительство метрополитена, но и увязать все эти мероприятия в единый узел, который позволить пассажирам снизить затраты по времени на осуществление поездок.

Транспортно-пересадочные хабы выполняют не только транспортную функцию. На их территории создаются коммерческие объекты. Стандартного, нормативного набора объектов, которые появляются в транспортно-пересадочных узлах не существует. Именно это делает каждый проект по созданию такого узла уникальным. Пример макета транспортно-пересадочного узла представлен на рисунке 1.

Для определения места размещения ТПУ необходимо учитывать следующие показатели:

– взаимное расположение инфраструктуры железнодорожного и других видов транспорта;

– существующий пассажиропоток и перспективы его развития;

– существующую застройку территорий;

– территориальное планирование развития городской среды и транспортной инфраструктуры.



Рисунок 1 – Пример макета транспортно-пересадочного узла

Выбор места размещения ТПУ должен определятся с учетом сложившейся городской маршрутной сети, востребованных направлений движения пассажиров. Отличительная особенность ТПУ заключается в единой технологии обслуживания пассажиров и согласованность работы различного вида транспорта в данном хабе.

Существует 2 вида размещения ТПУ:

– При планирование нового района ТПУ заранее предусматривается в генеральном плане;

– Исторический. ТПУ сформировались самостоятельно в течение времени.

В составе Генерального плана решаются вопросы размещения и формирования системы ТПУ на территории населенных пунктов.

В составе проектов планировки определяются основные параметры ТПУ: технико-экономические показатели застройки, состав технологической части ТПУ (включая размещение: платформ, остановочных пунктов, посадочных мест для наземного пассажирского транспорта, размещение отстойно-разворотных площадок наземного пассажирского транспорта общего пользования и т.п.), планировочное решение, основные параметры УДС и пешеходных коммуникаций на территории ТПУ, состав и емкость гаражно-стояночных объектов. Существует метод определения места размещения ТПУ (рис. 2).

На стадии проектирования, на основании проекта планировки, проектные предложения конкретизируются и детализируются.

При строительстве транспортно-пересадочного узла в приоритете необходимо ставить логистику передвижения пассажиропотоков с использованием компьютерные моделей. Необходимо грамотно распределять пассажиропотоки для обеспечения комфортности передвижения пользователями транспортных услуг.

Успех такого масштабного мероприятия, как строительство и функционирование транспортного хаба, зависит от того, насколько тщательно удается все спланировать на первоначальном этапе планирования. Это касается и взаимодействия властей разных уровней, и отношения между государством и бизнесом, и организацией транспортных потоков, и решение вопросов с местными жителями. Чтобы крупный узел эффективно работал, он должен быть заранее продуман до мелочей.



Рисунок 2 – Схема метода определения места размещения ТПУ

В проектах по созданию ТПУ активное участие принимают инвесторы. При проектировании ТПУ предусматриваются технологическая и коммерческая зоны. Первая после завершения строительства передается в хозяйственное ведение города. За счет реализации коммерческих объектов осуществляется окупаемость средств, которые вложили инвесторы.

Литература

1. Транспортная логистика: технологические особенности и компетенции кадров : для аспирантов вузов, научных работников транспортной сферы и специалистов-практиков / Д.А. Дрючин [и др.]. – М.; Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 176 с. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX
2. Пути повышения эффективности функционирования транспортной системы городской агломерации / Т.В. Коновалова [и др.] // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2023. – № 9. – С. 220–224. DOI: 10.23672/SAE.2023.9.9.016 EDN AOUHTS
3. Коновалова Т.В. Методика разработки формирования и размещения транспортно-пересадочных узлов / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2021. – № 3. – С. 82–93. EDN ZVAUEY
4. Коновалова Т.В. К вопросу обеспечения надежности и безопасности функционирования транспортной системы / Т.В. Коновалова, М.А. Кузьмина, С.Л. Надирян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 301–306. EDN CSWOVJ

References

1. Transport Logistics: Technological Features and Personnel Competencies: For Graduate Students of Universities, Researchers in the Transport Sector, and Practicing Professionals / D.A. Dryuchin [et al.]. – M., Vologda : Infra-Inzheneriya, 2026. – 176 p. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX
2. Ways to improve the efficiency of the transport system in a city agglomeration / T.V. Konovalova [et al.] // Humanities, socio-economic and social sciences. – 2023. – № 9. – P. 220–224. DOI: 10.23672/SAE.2023.9.9.016 EDN AOUHTS
3. Konovalova T.V. Methodology for the development, formation, and placement of transport and transfer hubs / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan // Electronic network polythematic journal «Scientific Works of KubSTU». – 2021. – № 3. – P. 82–93. EDN ZVAUEY
4. Konovalova T.V. On the issue of ensuring the reliability and safety of the transport system's operation / T.V. Konovalova, M.A. Kuzmina, S.L. Nadiryan // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 2. – P. 301–306. EDN CSWOVJ

УДК 656.073

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДОВ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF URBAN TRANSPORT MODELS

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Котенкова И.Н.
Кубанский государственный технологический университет

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Козадерова А.Д.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье авторы рассматривают классификацию и применение транспортных моделей для анализа городских транспортных систем. Выделены три основные группы моделей (прогнозные, имитационные, оптимизационные) и соответствующие им задачи транспортного планирования, организации дорожного движения и оптимизации перевозочного процесса. Описана структура транспортной модели, включающая информационные и расчётные блоки, а также этапы формирования транспортного предложения и расчёта спроса. Обоснована необходимость моделирования для прогнозирования последствий изменений улично-дорожной сети и маршрутной системы.

Ключевые слова: транспортные модели, прогнозные модели, имитационные модели, оптимизационные модели, транспортное планирование, транспортный спрос, улично-дорожная сеть, математическое моделирование.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Kotenkova I.N.
Kuban State Technological University

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Kozaderova A.D.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors consider the classification and application of transport models for the analysis of urban transport systems. Three main groups of models (forecast, simulation, optimization) and their corresponding tasks of transport planning, traffic management and optimization of the transportation process are identified. The structure of the transport model, including information and calculation blocks, as well as the stages of forming transport supply and calculating demand, is described. The necessity of modeling for predicting the consequences of changes in the road network and route system is substantiated.

Keywords: transport models, forecast models, simulation models, optimization models, transport planning, transport demand, road network, mathematical modeling.

Моделирование является важным инструментом, позволяющим выделить и проанализировать существенные для исследования свойства, взаимосвязи, структурные, функциональные параметры.

Среди всего разнообразия математических моделей, практически применяемых на сегодняшний день для анализа транспортных сетей городов и регионов, можно выделить три основные группы моделей:

– прогнозные;
– имитационные;
– оптимизационные модели.

В свою очередь каждой группе моделей можно поставить в соответствие определенный круг решаемых задач. В нашем случае это будут задачи:

– транспортного планирования;
– организации дорожного движения;
– оптимизации перевозочного процесса.

Также каждая группа имеет свой объект исследования и соответствующий этому объекту набор степеней свободы. Соответственно, в этом случае в качестве таких объектов будут выступать:

– транспортный поток;
– транспортное средство;
– пассажиропоток;
– формализованный параметр оптимизации (цель).

Моделирование дает возможность наглядно изобразить комплексные процессы деятельности транспорта, прогнозировать перераспределение транспортных потоков в результате внешних воздействий на участки улично- дорожной сети (УДС), таких как:

– строительство новых участков сети;
– реконструкция (расширение) участков сети;
– закрытие отдельных участков сети;
– изменения условий движения в сети;
– изменение маршрутной сети и расписаний движения общественного транспорта (ОТ).

Прогнозные модели предназначены для моделирования объемов транспортной работы в сетях при известном размещении потокообразующих объектов города. При помощи прогнозных моделей можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети города, происходящие либо в процессе изменения транспортного спроса, либо в процессе изменения транспортного предложения. Модели этого типа применяются для поддержки решений в области транспортного планирования города, для анализа последствий тех или иных альтернативных проектов развития транспортной сети и др. Прогнозные модели в свою очередь можно разделить также на две группы по основным задачам прогнозирования: прогнозирование во времени; прогнозирование в пространстве

Эти модели связаны друг с другом. Прогнозы интенсивности движения транспорта являются исходными данными для последующей имитации дорожного движения, а имитация дает возможность выявить потребность в оптимизации транспортного процесса.

Первым этапом перед выдвижением каких-либо конкретных организационно-технические мероприятий относительно транспортного планирования, является изучение результата от реализации таких мероприятий. Это невозможно без математического моделирования процессов, возникающих при взаимодействии уже существующих транспортных сетей городов.

Каждой группе моделей можно поставить определенные задачи. При транспортном моделировании это задачи:

– транспортного планирования;
– организации дорожного движения;

Объектами при этом будут:

– транспортный поток;
– транспортное средство.

Моделирование дорожного движения дарит возможность наглядно изобразить процессы деятельности транспорта, спрогнозировать перераспределения транспортных потоков в результате внедрения мероприятий на участках УДС, таких как:

– строительство новых участков сети;
– реконструкция (расширение) участков сети;
– закрытие отдельных участков сети;
– изменения условий движения.

Любая математическая модель, показывающая функционирование транспортной сети, держится на большом объеме исходных данных. Сбор исходных данных представляет собой трудоемкий и продолжительный по времени этап. К таким данным относятся: численность населения по районам, число мест приложения труда, рекреационный потенциал горда, среднее время передвижения и др.

Алгоритм всех транспортных моделей в итоге решает задачу соответствия существующего транспортного спроса имеющемуся транспортному предложению.

Таким образом, создание транспортной модели, наполнение ее исходными данными можно разделить на два этапа: создание транспортного предложения и расчет транспортного спроса.

Транспортное предложение состоит из элементов, с помощью которых транспортная система города удовлетворяет существующий транспортный спрос. В будущем оно будет определять, какой объем спроса существует и насколько качественно это может удовлетворить существующая транспортная система.

Структура транспортной модели представляет собой программный комплекс, который состоит из информационных и расчетных блоков.

Информационные блоки образуют единую базу данных, которая хранит и обрабатывает информацию.

Расчетные блоки реализуют алгоритмы решения задач математического программирования, которые направлены на расчет существующих транспортных потоков.

Литература

1. Изюмский А.А. Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков / А.А. Изюмский, С.Л. Надирян, И.С. Сенин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 1. – С. 52–54. EDN VUSSKH
2. Оптимизации маршрутов движения населения городов посредством интеграции «зеленых зон передвижения» / Т.В. Коновалова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 96–99. EDN GKDYFH
3. Изюмский А.А. Транспортные сети и возможности их моделирования при помощи современных пакетов прикладных программ / А.А. Изюмский, С.Л. Надирян, И.С. Сенин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 138–142. EDN WFENGT
4. Надирян С.Л. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем для эффективного функционирования городской транспортной системы / С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова, А.Д. Козадерова // Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего: материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 07–09 октября 2025 года. – Краснодар : Индивидуальный предприниматель Кабанов Виктор Болеславович (Издательство «Новация»), 2025. – С. 263–268. EDN SWFKGA

References

1. Izyumsky A.A. Application of simulation modeling in the field of traffic flow modeling / A.A. Izyumsky, S.L. Nadiryan, I.S. Senin // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 1. – P. 52–54. EDN VUSSKH
2. Optimization of urban population movement routes through the integration of «green travel zones» / T.V. Konovalova [et al.] // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 96–99. EDN GKDYFH
3. Izyumsky A.A. Transport networks and the possibilities of their modeling using modern application software packages / A.A. Izyumsky, S.L. Nadiryan, I.S. Senin // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 138–142. EDN WFENGT
4. Nadiryan S.L. Application of elements of intelligent transport systems for the effective functioning of the urban transport system / S.L. Nadiryan, I.N. Kotenkova, A.D. Kozaderova // Integrated Transport Solutions: Challenges of the Present and Prospects for the Future: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, October 07–09, 2025. – Krasnodar : Individual Entrepreneur Kabanov Viktor Boleslavovich (Publishing House «Novatsiya»), 2025. – P. 263–268. EDN SWFKGA

УДК 656.13.08

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF ACCIDENT RATES INVOLVING MEANS OF INDIVIDUAL MOBILITY

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

Изюмский А.А.
Кубанский государственный технологический университет

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье представлен анализ динамики дорожно–транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) в Российской Федерации за период 2024–2026 гг. с акцентом на столкновения на тротуарах и в пешеходных зонах. На основе данных ГИБДД проведён сравнительный анализ общероссийских показателей и ситуации в Краснодарском крае – регионе, стабильно входящем в тройку лидеров по аварийности с СИМ. Установлено, что доля ДТП на тротуарах достигает 34–52 % от общего числа происшествий с СИМ, а доля пешеходов среди пострадавших составляет 16,6–17,2 %. Выявлен резкий рост аварийности в Краснодарском крае в первом квартале 2026 года (+94,7 %), что свидетельствует о необходимости усиления регуляторных мер на региональном уровне.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, электросамокаты, дорожно-транспортные происшествия, тротуары, пешеходная безопасность, Краснодарский край, статистика ДТП.

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

Izyumsky A.A.
Kuban State Technological University

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Annotation. The article presents an analysis of the dynamics of road traffic accidents involving personal mobility devices (PMDs) in the Russian Federation for the period 2024–2026, with a focus on collisions on sidewalks and in pedestrian zones. Based on data from the traffic police, a comparative analysis was carried out of nationwide indicators and the situation in the Krasnodar Territory – a region that consistently ranks among the top three in terms of accidents involving PMDs. It was found that the share of accidents on sidewalks reaches 34–52 % of the total number of accidents with SIM, and the share of pedestrians among the victims is 16.6–17.2 %. A sharp increase in accidents in the Krasnodar Territory was revealed in the first quarter of 2026 (+94.7 %), which indicates the need to strengthen regulatory measures at the regional level.

Keywords: means of individual mobility, electric scooters, traffic accidents, sidewalks, pedestrian safety, Krasnodar Territory, accident statistics.

Введение

Средства индивидуальной мобильности (СИМ) – электросамокаты, электровелосипеды, моноколёса и иные устройства – стремительно вошли в повседневную жизнь российских городов. По экспертным оценкам, только за последний год на российском рынке было продано от 500 до 600 тыс. электросамокатов. Ежедневно в Москве арендные самокаты совершают более 330 тыс. поездок, а совокупный парк прокатных устройств в столице в 2025 году достиг 60 тыс. единиц.

Наряду с ростом популярности СИМ наблюдается устойчивое увеличение аварийности с их участием. Особую озабоченность вызывает высокая доля происшествий, происходящих на тротуарах и в пешеходных зонах, где СИМ непосредственно взаимодействуют с наиболее уязвимой категорией участников дорожного движения – пешеходами.

Цель данной статьи – провести комплексный анализ динамики ДТП с участием СИМ в Российской Федерации и Краснодарском крае, оценить структуру происшествий по месту совершения и категориям пострадавших, а также выявить ключевые тенденции и факторы риска.

Материалы и методы

Эмпирической базой исследования послужили официальные статистические отчёты Госавтоинспекции МВД России, опубликованные в открытых источниках за 2024–2026 гг., а также данные региональных управлений ГИБДД по Краснодарскому краю. Использованы материалы информационных агентств (ТАСС, «Коммерсантъ», РБК, «Московский комсомолец») и специализированных отраслевых изданий.

В работе применялись следующие методы:

– статистический анализ динамических рядов;

– сравнительно-географический метод (сопоставление показателей регионов);

– структурный анализ ДТП по видам, месту совершения и категориям пострадавших;

– контент – анализ нормативных и аналитических материалов.

Общероссийская динамика аварийности с СИМ

Проблематика безопасности использования СИМ активно разрабатывается как в российском, так и в зарубежном научном дискурсе. Международные исследования показывают, что доля пешеходов среди пострадавших в ДТП с электросамокатами варьируется от 4 до 17% в зависимости от страны и методики сбора данных.

В Германии в 2025 году зарегистрировано 16 496 ДТП с участием электросамокатов с пострадавшими – на 38,1% больше, чем годом ранее. При этом 38 человек погибли, включая трёх пешеходов. Наиболее частым нарушением со стороны водителей СИМ является неправильное использование проезжей части или тротуаров.

В Японии анализ данных Национального полицейского агентства за период с января 2024 по июнь 2025 года показал 165 случаев травмирования водителей электросамокатов и 23 599 случаев травмирования пешеходов.

В Российской Федерации систематический сбор статистики ДТП с участием СИМ ведётся ГИБДД с 2023 года. По данным ведомства, в 2024 году зафиксировано 4426 ДТП с СИМ (+42,8 % к 2023 году), в которых погибли 54 человека, пострадали 4591 человек. В 2025 году отмечено снижение общего числа ДТП до 3,2 тыс. (на 26 % меньше), однако число погибших выросло до 68 человек. Таким образом, несмотря на сокращение количества аварий, их тяжесть возрастает.

Анализ данных ГИБДД за 2024–2026 гг. позволяет выделить следующие тенденции.

2024 год стал «пиковым» по абсолютному числу ДТП с СИМ – 4 426 происшествий, что на 42,8 % превышает показатели 2023 года. Погибли 54 человека, пострадали 4591 человек.

В 2025 году наметилось снижение общего числа ДТП до 3275–3200 (на 26 % меньше), однако количество погибших увеличилось до 68 человек. Рост летальности при сокращении числа аварий свидетельствует о повышении тяжести происшествий.

В 2026 году аварийность вновь демонстрирует рост: за первые пять месяцев зафиксировано 1160 ДТП с СИМ, что на 32 % больше, чем за аналогичный период 2025 года. Погибли 11 человек, пострадали 1230 человек.

Структура ДТП по месту совершения

Критически значимым для понимания проблемы является анализ мест совершения ДТП с СИМ. По данным за 2024 год, 34,2 % всех ДТП с участием СИМ произошло на тротуарах и в пешеходных зонах, ещё 15,5 % – на пешеходных переходах. Таким образом, около половины всех происшествий с участием СИМ происходят в зонах, предназначенных для пешеходов.

В ряде регионов доля ДТП на тротуарах ещё выше. По отдельным данным, более половины ДТП с участием СИМ (52 %) происходит на тротуарах и пешеходных переходах.

В 2025 году каждый шестой пострадавший (16,6 %) в ДТП с СИМ – пешеход, получивший травмы в результате наезда. Среди погибших 74,3 % составляли водители СИМ, 5,7 % – пассажиры, 17,2 % – пешеходы. В абсолютных цифрах за 2025 год погибли как минимум два пешехода в результате наездов СИМ на тротуарах.

Региональная структура аварийности

По итогам 2025 года лидерами по числу ДТП с СИМ стали (табл. 1).

Таблица 1 – Лидеры по числу ДТП с СИМ в 2025 году

Место	Регион	Количество ДТП	Погибшие	Пострадавшие
1	Москва	629	4	660
2	Краснодарский край	198	5	202
3	Санкт–Петербург	193	8	205

Москва, занимая первое место по абсолютному числу ДТП, демонстрирует наиболее высокие темпы снижения аварийности – число ДТП с СИМ в столице сократилось вдвое за год. Краснодарский край занял второе место с 198 ДТП, что на 2 % меньше, чем в 2024 году.

За пять месяцев 2026 года структура лидеров изменилась (табл. 2):

Таблица 2 – Лидеры по числу ДТП с СИМ в начале 2026 года

Место	Регион	Количество ДТП
1	Москва	263
2	Санкт–Петербург	101
3	Краснодарский край	88
4	Челябинская область	58
5	Свердловская область	37

Краснодарский край представляет особый интерес как регион с устойчиво высокой аварийностью с СИМ и выраженной сезонной динамикой (табл. 3).

Таблица 3 – Динамика ДТП с СИМ в Краснодарском крае (2023–2026 гг.)

Период	ДТП	Погибшие	Пострадавшие	Динамика
2023 год	122	–	–	–
2024 год	201	9	197	+64,7 % к 2023
2025 год	198	5	202	–2 % к 2024
I кв. 2026	37	1	38	+94,7 % к I кв. 2025

В первом квартале 2026 года Краснодарский край возглавил антирейтинг регионов по числу ДТП с СИМ (34 аварии, 35 пострадавших), опередив Москву и Санкт–Петербург (по 15 ДТП в каждом).

Структура ДТП в Краснодарском крае в первом квартале 2026 года:

- наезд на лицо, использующее СИМ – 24 случая (64,9 %);
- наезд на пешехода – 6 случаев (16,2 %);
- опрокидывание СИМ – 4 случая (10,8 %).

Основные причины аварий по вине водителей СИМ:

1) превышение скорости – 5 случаев;
2) непредоставление преимущества пешеходам – 3 случая;
3) неправильный выбор дистанции, нарушение требований дорожных знаков и правил расположения транспорта на проезжей части.

Особую тревогу вызывает вовлечённость несовершеннолетних: с начала 2026 года произошло семь ДТП с участием детей в возрасте от 8 до 15 лет и девять аварий с участием молодых людей от 16 до 20 лет.

Административные меры воздействия в регионе активизировались: в первом квартале 2026 года к ответственности привлечены 1,9 тыс. нарушителей (+104,9 % к аналогичному периоду 2025 года), общая сумма штрафов превысила 2 млн руб. (против 120 тыс. руб. годом ранее).

Проведённый анализ позволяет выделить несколько ключевых проблемных аспектов.

Первое. Высокая доля ДТП на тротуарах (34–52 %) свидетельствует о фундаментальном конфликте между скоростными характеристиками СИМ и пешеходной инфраструктурой. Электросамокаты, развивающие скорость до 25 км/ч и более, оказываются в среде, где основная масса пешеходов передвигается со скоростью 3–5 км/ч. Это создаёт объективные предпосылки для столкновений.

Второе. Доля пешеходов среди пострадавших (16,6–17,2 %) и среди погибших (17,2 %) указывает на то, что уязвимость пешеходов при взаимодействии с СИМ сопоставима с уязвимостью самих водителей СИМ. Это требует пересмотра подходов к организации дорожного движения и зонированию городских пространств.

Третье. Региональная дифференциация аварийности показывает, что наиболее проблемными являются крупные города-миллионники и курортные регионы с высоким туристическим потоком. Краснодарский край, сочетающий оба этих фактора, демонстрирует устойчиво высокие показатели аварийности.

Четвёртое. Динамика 2025–2026 гг. обнаруживает парадоксальную тенденцию: при общем снижении числа ДТП в 2025 году наблюдается рост летальности, а в 2026 году – новый всплеск аварийности. Это может быть связано с несколькими факторами:

- сезонными колебаниями (пик аварийности приходится на тёплые месяцы);
- ростом парка частных СИМ, которые менее контролируемы по сравнению с прокатными;
- недостаточной эффективностью существующих регуляторных механизмов.

Пятое. Значительный рост числа административных штрафов в Краснодарском крае в 2026 году (в 16,7 раза по сумме) при одновременном росте аварийности позволяет предположить, что карательные меры без комплексной модернизации инфраструктуры имеют ограниченную эффективность.

На федеральном уровне обсуждается возможность введения запрета движения СИМ по тротуарам. 5 марта 2026 года президент поручил Минтрансу и МВД рассмотреть этот вопрос. Глава Минтранса Андрей Никитин заявил: «Наша задача не запрещать что–то, а сделать такое регулирование, которое позволит обеспечить безопасное движение пешеходов по тротуарам».

На основе анализа официальных статистических данных за 2024–2026 гг. можно сделать следующие выводы.

1. Аварийность с участием СИМ в Российской Федерации остаётся на высоком уровне: в 2024 году – 4426 ДТП, в 2025 году – 3275 ДТП, за пять месяцев 2026 года – 1160 ДТП (+32 % к аналогичному периоду 2025 года). Число погибших выросло с 54 (2024) до 68 (2025) и продолжает увеличиваться.

2. Тротуары и пешеходные зоны являются основным местом совершения ДТП с СИМ – от 34 до 52 % всех происшествий. Каждый шестой пострадавший в ДТП с СИМ – пешеход.

3. Краснодарский край стабильно входит в тройку регионов–лидеров по аварийности с СИМ. В первом квартале 2026 года край возглавил антирейтинг с 37 ДТП (+94,7 % к аналогичному периоду 2025 года). Основные причины – превышение скорости и непредоставление преимущества пешеходам.

4. Наиболее уязвимыми категориями являются пешеходы, а также дети и молодёжь (8–20 лет), составляющие значительную долю пострадавших.

5. Существующие меры административного воздействия (штрафы) недостаточны для кардинального изменения ситуации. Требуется комплексный подход, включающий модернизацию городской инфраструктуры (выделенные полосы для СИМ), ужесточение требований к техническим характеристикам устройств (ограничение скорости), усиление контроля за частными СИМ и системную работу с несовершеннолетними пользователями.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на анализ эффективности вводимых регуляторных мер, изучение поведенческих факторов водителей СИМ и пешеходов, а также разработку научно обоснованных рекомендаций по безопасной интеграции СИМ в городскую среду.

Литература

1. Аварийность с электросамокатами в России выросла более чем на 30 % // Коммерсантъ. – 2026. – 16 июня. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8738234 (дата обращения 11.07.2026).
2. В ДТП с участием средств индивидуальной мобильности в РФ с начала года погибли 44 человека / Interfax.ru. – Москва, 2024. – URL : https://m.interfax.ru/990268 (дата обращения: 11.07.2026).
3. За последний год продано 500–600 тыс. электросамокатов: статистика аварийности растет // Московский комсомолец. – 2026. – URL : https://www.mk.ru/social/2026/08/25/za–posledniy–god–prodano–500600–tys–elektrosamokatov–statistika–avariynosti–rastet.html (дата обращения 11.07.2026).
4. Количество аварий с участием СИМ на Кубани за год сократилось на 1,5 % // Ведомости Юг. – 2026. – URL : https://south.vedomosti.ru (дата обращения 11.07.2026).
5. Кубань возглавила антирейтинг по числу аварий с участием СИМ в России // РБК Краснодар. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69ddda299a79477f58c5ab28 (дата обращения 11.07.2026).
6. Кубань заняла второе место по числу аварий с участием СИМ в 2025 г. // РБК Краснодар. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69aff8679a7947df7155aa23 (дата обращения 11.07.2026).
7. Кубань заняла второе место в России по количеству ДТП с самокатами // KrasnodarMedia.su. – 2026. – URL : https://krasnodarmedia.su/news/2423671 (дата обращения 11.07.2026).
8. Петербург занял первое место по числу смертей в ДТП с электросамокатами // Закс.ру. – 2026. – URL : https://www.zaks.ru (дата обращения 11.07.2026).
9. Регионы расставили по числу аварий с СИМ // Коммерсантъ. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8497219 (дата обращения 11.07.2026).
10. СИМ включили аварийный режим // Коммерсантъ. – 2025. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/7550922 (дата обращения 11.07.2026).
11. Число ДТП с самокатами на Кубани выросло вдвое в I квартале 2026 г. // РБК Краснодар. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69fcb44b9a794760bf85cc50 (дата обращения 11.07.2026).
12. Deutlich mehr schwere E–Scooter–Unfälle – das sagen Experten // Süddeutsche Zeitung. – 2026. – URL: https://www.suedkurier.de (дата обращения: 11.07.2026).
13. Mehr Unfälle mit E–Scootern gezählt // Deutsches Ärzteblatt. – 2026. – URL : https://www.aerzteblatt.de (дата обращения 11.07.2026).

References

1. Accident rates involving electric scooters in Russia have increased by more than 30 % // Kommersant. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8738234 (date of appeal: 07/11/2026).
2. 44 people have died in road accidents involving personal mobility equipment in the Russian Federation since the beginning of the year / Interfax.ru. – M., 2024. – URL : https://m.interfax.ru/990268 (date of application 07/11/2026).
3. 500-600 thousand electric scooters have been sold over the past year: accident statistics are growing // Moskovsky Komsomolets. – 2026. – URL : https://www.mk.ru/social/2026/08/25/za–posledniy-god-prodano-500600-tys-elektrosamokatov-statistika-avariynosti-rastet.html (date of application 11.07.2026).
4. The number of accidents involving SIMs in the Kuban region decreased by 1.5 % over the year // Vedomosti Yug. – 2026. – URL : https://south.vedomosti.ru (date of application 11.07.2026).
5. Kuban topped the anti-rating in terms of the number of accidents involving micromobility devices in Russia // RBC Krasnodar. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69ddda299a79477f58c5ab28 (date of application 11.07.2026).
6. Kuban ranked second in terms of the number of accidents involving micromobility devices in 2025 // RBC Krasnodar. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69aff8679a7947df7155aa23 (date of application 11.07.2026).
7. Kuban ranks second in Russia in terms of the number of accidents involving scooters // KrasnodarMedia.su. – 2026. – URL : https://krasnodarmedia.su/news/2423671 (date of application 11.07.2026).
8. St. Petersburg took first place in terms of the number of deaths in traffic accidents involving electric scooters // Zaks.ru. – 2026. – URL : https://www.zaks.ru (date of application 11.07.2026).

9. Regions ranked by the number of accidents involving SIMs // Kommersant. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8497219 (date of application 11.07.2026).
10. SIMs switched to emergency mode // Kommersant. – 2025. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/7550922 (date of application 11.07.2026).
11. The number of accidents involving scooters in the Kuban region doubled in the first quarter of 2026 // RBC Krasnodar. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/69fcb44b9a794760bf85cc50 (date of application 11.07.2026).
12. Significantly more serious E-Scooter accidents – that's what experts say // Süddeutsche Zeitung. – 2026. – URL : https://www.suedkurier.de (date of application 11.07.2026).
13. More accidents involving E-scooters recorded // Deutsches Ärzteblatt. – 2026. – URL : https://www.aerzteblatt.de (date of application 11.07.2026).

УДК 656.07

АНАЛИЗ РЫНКА И ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ (TMS) В РОССИИ И КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF THE MARKET AND PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEMS (TMS) IN RUSSIA AND THE KRASNODAR TERRITORY

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

Изюмский А.А.
Кубанский государственный технологический университет

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье рассматриваются современное состояние и тенденции развития программного обеспечения для управления грузовым автомобильным транспортом (TMS). На основе анализа данных международных и российских исследовательских агентств, а также отраслевых обзоров 2024–2026 гг. представлена количественная оценка мирового и российского рынков TMS, выделены ключевые драйверы и барьеры внедрения. Особое внимание уделено специфике Краснодарского края как стратегического транспортного узла юга России. Выявлены сильные и слабые стороны применения TMS в регионе, предложены направления развития с учётом грядущих изменений в нормативно-правовом поле. Работа содержит критический анализ распространённых взглядов на эффективность TMS и обосновывает необходимость адаптации решений под нужды малого и среднего бизнеса.

Ключевые слова: транспортная логистика, TMS, цифровизация перевозок, рынок программного обеспечения, Краснодарский край, государственное регулирование, искусственный интеллект, консолидация рынка.

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

Izyumsky A.A.
Kuban State Technological University

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Annotation. The article examines the current state and development trends of software for managing road freight transport (TMS). Based on an analysis of data from international and Russian research agencies, as well as industry reviews from 2024–2026, a quantitative assessment of the global and Russian TMS markets is presented, and the key drivers and barriers to implementation are identified. Special attention is paid to the specifics of the Krasnodar Territory as a strategic transport hub in southern Russia. The strengths and weaknesses of using TMS in the region are identified, and development directions are proposed taking into account upcoming changes in the regulatory framework. The paper provides a critical analysis of common views on the effectiveness of TMS and justifies the need to adapt solutions to meet the needs of small and medium-sized businesses.

Keywords: transport logistics, TMS, digitalization of transportation, software market, Krasnodar Krai, government regulation, artificial intelligence, market consolidation.

Эффективность грузовых автомобильных перевозок в значительной мере определяется уровнем автоматизации управленческих процессов. В последние годы системы управления транспортом (Transportation Management System, TMS) превратились из вспомогательного инструмента в стратегический ресурс логистических компаний. По данным исследования Descartes (2025), 81 % грузоотправителей и логистических провайдеров рассматривают транспортный менеджмент как конкурентное оружие, а внедрение TMS позволяет сократить операционные расходы до 20 % уже на начальном этапе [8]. При этом российский рынок характеризуется низким уровнем проникновения TMS – менее 30 % компаний используют специализированные решения, что создаёт значительный потенциал роста, но одновременно обнажает системные проблемы, связанные с фрагментацией отрасли, дефицитом кадров и высокой долей теневого сектора.

Особый интерес представляет Краснодарский край – регион, совмещающий крупнейшие морские порты, развитое сельское хозяйство и рекреационный комплекс. Через него проходят важнейшие транспортные коридоры, связывающие юг России с

центральными и международными рынками. Однако сезонность перевозок, высокая зависимость от малых перевозчиков и растущее давление государственного регулирования делают вопрос внедрения TMS в крае особенно актуальным.

Цель данной статьи – провести комплексный анализ мирового и российского рынков TMS, выявить сильные и слабые стороны внедрения таких систем, а также определить перспективы их развития в Краснодарском крае с учётом общероссийских и региональных трендов.

Методология исследования

Исследование базируется на системном анализе открытых данных, опубликованных в 2024–2026 гг. международными и российскими аналитическими агентствами (MarketsandMarkets, Berg Insight, Straits Research, GM Insights), отраслевыми изданиями (TAdviser, «Коммерсантъ», ATI.SU, РБК Краснодар), а также материалами Фонда «Сколково» и исследовательского центра «Логистика 360». Использованы методы сравнительного анализа, статистической обработки данных, контент-анализа экспертных мнений. Для оценки региональной специфики привлекались данные о грузопотоках, инвестиционных проектах и динамике числа перевозчиков Краснодарского края.

Глобальный рынок TMS: объёмы и структура

Мировой рынок TMS в 2025 году оценивается в диапазоне от 14,8 до 19,8 млрд долл. США в зависимости от методики расчёта (табл. 1). Прогнозы до 2030–2035 гг. указывают на сохранение высоких темпов роста – среднегодовой темп (CAGR) составляет 10,5–14,9 %.

Таблица 1 – Прогнозы объёма мирового рынка TMS

Источник	Базовый год	Объём, млрд $	Прогнозный год	Объём, млрд $	CAGR, %
MarketsandMarkets	2025	18,50	2030	37,04	14,9
Berg Insight	2024	15,00	2030	33,80	14,5
Straits Research	2025	19,76	2034	44,36	9,4
MarketResearch.com	2025	14,84	2035	–	10,5

Региональная структура характеризуется доминированием Северной Америки (около 35 %) и Европы (около 28 %), при этом Азиатско-Тихоокеанский регион демонстрирует наибольшие темпы прироста. Семёрка крупнейших вендоров (Oracle, SAP, Manhattan Associates, C.H. Robinson, Trimble, WiseTech Global, Descartes) контролирует около 28 % рынка, при этом доля Oracle оценивается в 18,6–19 % [12].

Российский рынок TMS

На российском рынке представлено более 50 отечественных продуктов, позиционируемых как TMS. Согласно исследованию Фонда «Сколково» и TAdviser, в группу лидеров входят AXELOT TMS, VEZUBR, IT Vectura, а также Test IT (FabricaONE.AI) [1, 2]. Стоимость внедрения для среднего бизнеса составляет около 1,5 млн руб., а сроки реализации – от 3 до 12 месяцев.

Анализ функциональности российских TMS, проведённый «Логистикой 360» на основе опроса 51 компании, показывает, что наиболее распространены учёт грузовых мест и ручное планирование маршрутов (по 65 % пользователей), тогда как автоматическое планирование и автораспределение перевозчиков используются лишь в 35 % и 25 % случаев соответственно [5]. Это свидетельствует о преобладании «учётной» модели над «интеллектуальной» и указывает на значительный потенциал для углубления автоматизации.

Особенности транспортного рынка Краснодарского края

Краснодарский край является важнейшим транспортным узлом юга России. По состоянию на ноябрь 2025 г. в регионе зарегистрировано 32,6 тыс. логистических компаний, из которых 5,2 тыс. появились за январь-ноябрь 2025 г., а более 4 тыс. прекратили деятельность [4]. Это свидетельствует о высокой турбулентности, обусловленной ростом издержек, кредитным кризисом (ставки лизинга 26–30 %) и предстоящей отменой патентной системы с 2026 г.

Тарифы на автоперевозки в регионе выросли на 15–20 % за 2025 г., а по отдельным направлениям – до 30,8 % (Краснодар-Волгоград) [3, 13]. Одновременно объём инвестиций в складскую инфраструктуру достиг 4,5 млрд руб., реализуется 11 крупных проектов на сумму 26,3 млрд руб. [6, 7]. Порт Новороссийск развивается в рамках проекта с инвестициями более 69 млрд руб. и увеличением провозной способности до 43 млн т в год [9].

Сильные стороны внедрения TMS

Мировой опыт подтверждает высокую эффективность TMS: снижение логистических издержек до 20 %, повышение производительности диспетчерских служб, прозрачность цепочек поставок. В Краснодарском крае уже есть успешные примеры – компания Health&Nutrition планирует более 600 рейсов ежедневно через единый диспетчерский центр на базе AXELOT TMS [7], а компания «Терра» автоматизировала транспортную логистику двух распределительных центров в регионе [8]. Такие кейсы демонстрируют практическую реализуемость и окупаемость решений.

Кроме того, грядущее введение обязательного электронного транспортного накладного с 1 сентября 2026 г. и запуск Национальной цифровой транспортно-логистической платформы «ГосЛог» делают TMS не просто инструментом оптимизации, а необходимостью для соответствия законодательным требованиям [6]. Это создаёт мощный импульс к цифровизации даже для тех компаний, которые ранее не видели в этом экономического смысла.

Слабые стороны и барьеры

Главной проблемой остаётся высокая доля теневого сектора – по разным оценкам, до 70 % рынка грузоперевозок в России функционирует нелегально или полулегально [4]. Для таких предприятий внедрение TMS, предполагающее полную прозрачность операций, представляется угрозой, а не благом. В Краснодарском крае эта проблема усугубляется фрагментацией: среднее число автомобилей на одного перевозчика – всего четыре, что делает покупку полноценной TMS экономически недоступной.

Другим существенным препятствием является нехватка квалифицированных кадров – как специалистов по логистике, способных формулировать требования, так и разработчиков и интеграторов. Кроме того, пользователи отмечают перегруженность интерфейсов, сложность интеграции с 1С и другие технические недостатки, что снижает готовность к переходу.

Оппонирование распространённым взглядам

В дискуссиях о TMS часто выдвигается тезис о том, что «достаточно Excel» для малого бизнеса. Однако при масштабе свыше 50 перевозок в месяц ручное управление ведёт к систематическим ошибкам и потерям, многократно превышающим стоимость внедрения. Контраргумент о том, что ИИ в TMS – лишь маркетинговый ход, опровергается данными Gartner: к 2030 г. 50 % цепочек поставок будут использовать интеллектуальных агентов для автономного принятия решений. В российском контексте этот тренд пока запаздывает, но 45 % руководителей уже планируют внедрение ИИ в ближайшие 2–3 года [1].

Относительно сравнения российских и западных TMS можно констатировать, что ряд отечественных решений по функциональности сопоставим с Oracle и SAP, однако их преимущество проявляется лишь при условии зрелости процессов у заказчика. Без готовности перестраивать работу TMS остаётся дорогой игрушкой, что подтверждают данные «Логистики 360» – компании с высоким уровнем автоматизации получают эффект, а остальные – нет.

Тенденции развития

На глобальном уровне отмечаются следующие тренды:

– Агентный ИИ – автономные агенты принимают решения по маршрутизации, управлению мощностями, закупке фрахта.

– Переход к облачным платформам (Cloud-first) с интеграцией телематики, GPS и систем учёта топлива.

– Конвергенция TMS с WMS, ERP и цифровыми экспедиторскими платформами, формирование логистических суперприложений.

В России эти тенденции накладываются на форсированную государственную цифровизацию и импортозамещение. Прогнозируется, что доля отечественных TMS вырастет с 22 % до 65 % в ближайшие годы. Для Краснодарского края ключевым фактором станет консолидация рынка – уход 25–30 % мелких игроков приведёт к укрупнению оставшихся и, как следствие, к росту спроса на TMS. При этом успех внедрения будет определяться не выбором «лучшего» вендора, а способностью компании интегрировать систему с реальными бизнес-процессами, адаптировать её к сезонным колебаниям и мультимодальным маршрутам.

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Мировой рынок TMS демонстрирует устойчивый рост с CAGR около 12–15 %, при этом основными драйверами являются искусственный интеллект, облачные технологии и требования устойчивого развития.

2. Российский рынок TMS находится на этапе активного импортозамещения, но уровень проникновения остаётся низким (менее 30 %), а функциональные возможности многих систем ограничены учётными задачами.

3. Краснодарский край представляет собой уникальную площадку для развития TMS ввиду высокой концентрации грузопотоков, инвестиционного бума в складскую инфраструктуру и давления государственного регулирования. Однако сезонность, фрагментация перевозчиков и теневая структура рынка являются серьёзными барьерами.

4. Решающим фактором распространения TMS станет консолидация рынка, уход неэффективных игроков и перевод отрасли на цифровые рельсы в рамках платформы «ГосЛог». Эффективность внедрения TMS зависит не от технического совершенства продукта, а от готовности компании к трансформации логистических процессов.

5. Для массового внедрения TMS в Краснодарском крае необходимы лёгкие и доступные решения для малого бизнеса, предусматривающие работу с сезонными заказами, интеграцию с местными платформами и поэтапное наращивание функционала по мере роста компании.

Для Краснодарского края дальнейшие исследования наибольшую актуальностьть представляют исследования, направленные на разработку методики оценки экономической эффективности TMS для региональных перевозчиков с учётом специфики сельскохозяйственных и курортных перевозок.

Литература

1. Сколково и TAdviser определили лидеров российского рынка систем управления транспортной логистикой // TAdviser. – 2025. – URL : https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Сколково_и_TAdviser_определили_лидеров_российского_рынка_систем_управления_транспортной_логистикой (дата обращения 14.08.2026).
2. 11 программ для логистики: обзор решений для цифровизации перевозок // РБК Компании. – 2025. – URL : https://companies.rbc.ru/news/KaFHwHfqnP/11-programm-dlya-logistiki-obzor-reshenij-dlya-tsifrovizatsii-perevozok (дата обращения 14.08.2026).
3. В Краснодарском крае взлетела стоимость грузоперевозок // АТИ. – 2026. – URL : https://news.ati.su/news/2026/02/01/v-krasnodarskom-krae-vzletela-stoimost-gruzoperevozok-804349/ (дата обращения 14.08.2026).
4. Кубань переживает те же процессы, что и вся российская транспортная отрасль // Коммерсантъ. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8337068 (дата обращения 14.08.2026).
5. Логистика 360. Рынок TMS в России 2024–2025 гг. Потребители – торговые и производственные компании // Lognews. – 2025. – URL : https://lognews.ru/logistika-360-opublikovala-issledovanie-rynok-tms-v-rossii-2024-2025-gg-potrebiteli-torgovye-i (дата обращения 14.08.2026).
6. В России создадут цифровую транспортно-логистическую платформу «ГосЛог» // Кубань 24. – 2026. – URL : https://kuban24.tv (дата обращения 14.08.2026).
7. AXELOT TMS ежедневно планирует более 600 рейсов для Health&Nutrition // AXELOT. – 2025. – URL : https://www.axelot.ru (дата обращения 14.08.2026).
8. Descartes' 9th Annual Study Finds Transportation Management Reaches Record Strategic Importance // Nasdaq. – 2025. – URL : https://www.nasdaq.com/articles/descartes-9th-annual-study-finds-transportation-management-reaches-record-strategic (date of application 14.08.2026).

9. Правительство включило в госпрограмму проект комплексного развития Новороссийского транспортного узла // Government.ru. – 2025. – URL : http://government.ru (дата обращения 14.08.2026).
10. Transportation Management System Market Size & Competitors // Research and Markets. – 2025. – URL : https://www.researchandmarkets.com (date of application 14.08.2026).
11. Freight Management System Market Size, Share, Growth, Analysis, 2034 // Straits Research. – 2026. – URL : https://straitsresearch.com (date of application 14.08.2026).
12. Transportation Management System Market Size & Share 2026–2035 // GM Insights. – 2025. – URL : https://www.gminsights.com (date of application 14.08.2026).
13. Стоимость автоперевозок на юге России выросла на 15–20 % по итогам 2025 г. // РБК Краснодар. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru (дата обращения 14.08.2026).

References

1. Skolkovo and TAdviser have identified the leaders in the Russian market of transport logistics management systems // TAdviser. – 2025. – URL : https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Skolkovo_and_TAdviser_identified_the_leaders_of_the_Russian_market_of_transport_logistics_management_systems (date of application 14.08.2026).
2. 11 logistics software solutions: an overview of digitalization solutions for transportation // RBC Companies. – 2025. – URL : https://companies.rbc.ru/news/KaFHwHfqnP/11-programm-dlya-logistiki-obzor-reshenij-dlya-tsifrovizatsii-perevozok (date of application 08/14/2026).
3. The cost of cargo transportation has soared in the Krasnodar Territory // ATI. – 2026. – URL : https://news.ati.su/news/2026/02/01/v-krasnodarskom-krae-vzletela-stoimost-gruzoperevozok-804349 (date of application 08/14/2026).
4. Kuban is going through the same processes as the entire Russian transport industry // Kommersant. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/8337068 (date of application 14.08.2026).
5. Logistics 360. TMS market in Russia, 2024–2025. Consumers – trading and manufacturing companies // Lognews. – 2025. – URL : https://lognews.ru/logistika-360-opublikovala-issledovanie-rynok-tms-v-rossii-2024-2025-gg-potrebiteli-torgovye-i (date of application 08/14/2026).
6. A digital GosLog transport and logistics platform will be created in Russia // Kuban 24. – 2026. – URL : https://kuban24.tv (date of application 08/14/2026).
7. AXELOT TMS daily plans more than 600 flights for Health&Nutrition // AXELOT. – 2025. – URL : https://www.axelot.ru (date of application 08/14/2026).
8. Descartes' 9th Annual Study Finds Transportation Management Reaches Record Strategic Importance // Nasdaq. – 2025. – URL : https://www.nasdaq.com/articles/descartes-9th-annual-study-finds-transportation-management-reaches-record-strategic (date of application 08/14/2026).
9. The government has included in the state program a project for the integrated development of the Novorossiysk transport hub // Government.ru. – 2025. – URL : http://government.ru (date of application 08/14/2026).
10. Transportation Management System Market Size & Competitors // Research and Markets. – 2025. – URL : https://www.researchandmarkets.com (date of application 14.08.2026).
11. Freight Management System Market Size, Share, Growth, Analysis, 2034 // Straits Research. – 2026. – URL : https://straitsresearch.com (date of application 14.08.2026).
12. Transportation Management System Market Size & Share 2026–2035 // GM Insights. – 2025. – URL : https://www.gminsights.com (date of application 14.08.2026).
13. The cost of road transportation in the south of Russia increased by 15–20 % by the end of 2025 // RBC Krasnodar. – 2026. – URL : https://kuban.rbc.ru (date of application 08/14/2026).

УДК 656.13.08

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ: МИРОВОЙ И РОССИЙСКИЙ КОНТЕКСТ

♦♦♦♦♦

THE IMPACT OF INDIVIDUAL MOBILITY DEVICES ON ROAD SAFETY: GLOBAL AND RUSSIAN CONTEXT

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

Изюмский А.А.
Кубанский государственный технологический университет

Гонтарук А.В.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В статье рассматривается влияние стремительного распространения средств индивидуальной мобильности (СИМ) на электродвигателях на безопасность дорожного движения в мире, России и Краснодарском крае. На основе статистических данных ГИБДД, Научного центра безопасности дорожного движения МВД России и международных источников анализируются динамика аварийности, структура пострадавших и риски для пешеходов. Особое внимание уделяется проблеме лоббирования кикшеринговыми компаниями законодательных инициатив, а также недостаточной эффективности государственного регулирования. Установлено, что при общем снижении количества ДТП с участием СИМ в России в 2025 году наблюдается рост летальности, а доля пешеходов среди пострадавших превышает 20 %. Краснодарский край стабильно входит в число регионов-лидеров по аварийности с СИМ. Делается вывод о необходимости ужесточения нормативного регулирования, введения обязательной регистрации частных СИМ и создания специализированной инфраструктуры.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, электросамокаты, безопасность дорожного движения, пешеходы, ДТП, кикшеринг, лоббизм, государственное регулирование, Краснодарский край.

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

Izyumsky A.A.
Kuban State Technological University

Gontaruk A.V.
Kuban State Technological University

Annotation. The article examines the impact of the rapid spread of electric individual mobility devices (IMDs) on road safety worldwide, in Russia, and in the Krasnodar Territory. Based on statistical data from the State Traffic Safety Inspectorate, the Scientific Center for Road Safety of the Russian Ministry of Internal Affairs, and international sources, the dynamics of accident rates, the structure of victims, and the risks for pedestrians are analysed. Special attention is paid to the problem of kick-sharing companies lobbying legislative initiatives, as well as the insufficient effectiveness of state regulation. It has been established that with a general decrease in the number of accidents involving SIM in Russia in 2025, there is an increase in mortality, and the proportion of pedestrians among the victims exceeds 20 %. The Krasnodar Territory is consistently among the leading regions in terms of accidents with SIM. It is concluded that it is necessary to tighten regulatory regulation, introduce mandatory registration of private SIM cards and create a specialized infrastructure.

Keywords: means of individual mobility, electric scooters, road safety, pedestrians, road accidents, kicksharing, lobbying, state regulation, Krasnodar territory.

Средства индивидуальной мобильности (СИМ) (электросамокаты, гироскутеры, моноколёса и иные устройства) за последние годы превратились из нишевого развлечения в массовый вид транспорта. По оценкам экспертов, парк частных СИМ в России стремительно растёт, а кикшеринговые сервисы ежегодно увеличивают количество поездок на десятки миллионов. Однако этот процесс сопровождается ростом аварийности, травматизма и смертности, причём основными уязвимыми участниками дорожного движения оказываются пешеходы.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью научного осмысления проблем безопасности СИМ на фоне слабой нормативной базы, активного лоббирования со стороны крупных игроков рынка и фрагментарности региональных подходов к регулированию.

Цель данной статьи – провести комплексный анализ влияния СИМ на безопасность дорожного движения на глобальном, общероссийском и региональном (Краснодарский край) уровнях, выявив ключевые риски для пешеходов, факторы институционального характера и предложив направления совершенствования политики.

Материалы и методы

В работе использованы официальные статистические данные Госавтоинспекции МВД России, Научного центра безопасности дорожного движения МВД России, а также открытые источники информации (публикации СМИ, отраслевые отчёты) за период 2024–2026 гг. В качестве международных ориентиров привлечены данные по Германии, Италии, Японии, Швейцарии и других стран. Методы исследования включают: анализ вторичных статистических данных, сравнительный анализ, контент-анализ нормативных и публичных документов.

Общероссийская динамика аварийности с участием СИМ

Динамика аварийности с участием СИМ в России за 2024–2026 гг. носит разнонаправленный характер. В 2024 году наблюдался взрывной рост: зарегистрировано 4426 ДТП с участием СИМ, что на 42,8 % превышает показатели 2023 года. В этих авариях погибли 54 человека (+25,6 %), пострадали 4591 человек (+44,5 %).

В 2025 году, по данным ГИБДД, произошло 3200 ДТП с участием СИМ, что на 26 % меньше, чем в 2024 году. Однако число погибших выросло до 68 человек (+25,9 %), а пострадавших – 3380 человек. Таким образом, при снижении общего количества аварий летальность возросла, что может свидетельствовать о росте тяжести последствий.

За пять месяцев 2026 года аварийность вновь демонстрирует рост: зафиксировано 1160 ДТП (на 32 % больше по сравнению с аналогичным периодом 2025 года), 11 погибших и 1230 пострадавших (табл. 1).

Таблица 1– Динамика ДТП с участием СИМ в России (2024–2026 гг.)

Показатель	2024 г.	2025 г.	2025 г. (изменение к 2024 г.)	2026 г. (5 мес.)
Количество ДТП	4426	3200	–26 %	1160
Погибшие	54	68	+25,9 %	11
Пострадавшие	4591	3380	–26,2 %	1230

Важным фактором является то, что 71,4% всех ДТП с СИМ происходят по вине самих пользователей СИМ, нарушающих правила дорожного движения. При этом 96,3 % погибших в авариях с СИМ – сами пользователи устройств, однако каждый шестой пострадавший (16,6 %) – пешеход. По данным Научного центра БДД МВД, доля пешеходов среди пострадавших в ДТП с СИМ превышает 20 %.

Особую тревогу вызывает высокая доля ДТП, происходящих в зонах, предназначенных для пешеходов. 34,2 % ДТП с СИМ в 2024 году зафиксировано на тротуарах и в пешеходных зонах; в 2025 году этот показатель превысил 25 %. Наиболее распространённые сценарии аварий – наезд на пешеходов, столкновения с транспортными средствами и опрокидывание СИМ.

Региональная структура аварийности

Наибольшее количество ДТП с участием СИМ традиционно фиксируется в крупных городах и регионах с высокой плотностью населения и развитой туристической инфраструктурой (табл. 2).

Москва остаётся абсолютным лидером по числу ДТП (629), однако демонстрирует наиболее высокие темпы снижения аварийности – сокращение вдвое за год. Это связывают с активной политикой городских властей и ростом парка прокатных СИМ (до 60 тыс. единиц при 71 млн поездок в 2025 году).

Таблица 2 – Регионы-лидеры по числу ДТП с СИМ (2025 год)

Регион	Количество ДТП (2025)	Динамика к 2024
Москва	629	–50 %
Краснодарский край	198	–2 %
Санкт-Петербург	~146	–4,5 %
Нижегородская область	–	–17,5 %
Костромская область	187	–

Краснодарский край: региональный аспект

Краснодарский край стабильно входит в число регионов-лидеров по аварийности с СИМ, занимая второе место после Москвы.

В 2025 году в Краснодарском крае зафиксировано 198 ДТП с участием СИМ, в которых 5 человек погибли и 202 получили травмы. По сравнению с 2024 годом количество аварий сократилось на 2 % (табл. 3).

Однако ситуация в 2026 году резко обострилась. За первый квартал 2026 года в Краснодарском крае произошло 37 ДТП с СИМ, что на 94,7 % больше, чем за аналогичный период 2025 года. В этих авариях один человек погиб, 38 получили травмы. По итогам января-апреля 2026 года зафиксировано 56 ДТП – второй показатель по стране.

Таблица 3 – Динамика ДТП с СИМ в Краснодарском крае

Период	Количество ДТП	Погибшие	Пострадавшие
2025 (весь год)	198	5	202
I квартал 2025	~19	–	–
I квартал 2026	37	1	38
Январь-апрель 2026	56	–	–

Характерной особенностью Краснодарского края является преобладание частных электросамокатов в структуре аварийности: подавляющее число инцидентов связано с использованием личных устройств, а не арендных. Основные причины ДТП – превышение скорости, нарушение правил проезда перекрёстков, несоблюдение дистанции и игнорирование дорожных знаков. Типичный нарушитель – молодой человек в возрасте 16–30 лет. С начала 2026 года к административной ответственности привлечены 1996 водителей СИМ в крае.

Международный контекст

Проблема безопасности СИМ носит глобальный характер. В Германии в 2025 году зарегистрировано около 16500 ДТП с участием электросамокатов с пострадавшими – на 40 % больше, чем в 2024 году; погибли 38 человек. Среди погибших – три пешехода. В столкновениях с пешеходами в 88,7 % случаев виновными признавались водители электросамокатов.

В Италии с 2020 по 2025 год зафиксировано 97 смертельных случаев с участием электросамокатов. В Швейцарии количество аварий с электросамокатами достигло 790 в 2025 году. В Японии в 2025 году зафиксировано 57 аварий с участием электросамокатов и пешеходов.

Согласно обзору глобальных исследований, число травм, связанных с электросамокатами, выросло с 8566 в 2017 году до 56847 в 2022 году. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что новые виды мобильности, включая электросамокаты, создают новые вызовы для политиков и требуют обновления нормативной базы.

Риски для пешеходов

Полученные данные свидетельствуют о том, что пешеходы являются одной из наиболее уязвимых групп в ДТП с участием СИМ. Доля пешеходов среди пострадавших превышает 20 %, а каждый шестой пострадавший в ДТП с СИМ – пешеход. Наиболее уязвимы дети в возрасте 5–9 лет (17 % пострадавших пешеходов) и пожилые люди старше 70 лет (12,2 %).

Около трети всех ДТП с СИМ происходят на тротуарах и в пешеходных зонах, где пешеходы по определению имеют приоритет. Это создаёт системный конфликт между двумя категориями участников дорожного движения, усугубляемый высокой скоростью СИМ (до 30–40 км/ч) и отсутствием эффективных механизмов контроля.

Лоббирование кикшеринговых компаний

Существенным препятствием на пути ужесточения регулирования СИМ является активное лоббирование со стороны кикшеринговых компаний. Сенатор Артём Шейкин неоднократно заявлял, что законопроект, предусматривающий штрафы для пользователей СИМ за нарушения, до сих пор не принят из-за давления со стороны кикшеринговых компаний.

Операторы кикшеринга активно противодействуют региональным запретам, обращаясь в прокуратуру с жалобами на «необоснованные препятствия к осуществлению предпринимательской деятельности». При этом бизнес настаивает на саморегулировании, вводя собственные ограничения скорости и возрастные рамки, однако федеральной нормативной базы недостаточно.

Эксперты отмечают, что политики используют тему электросамокатов для предвыборного пиара, что также не способствует системному решению проблемы. Лидер партии «Справедливая Россия» Сергей Миронов предложил запретить электросамокаты на пешеходных зонах по всей стране, аргументируя это тем, что «устали люди от лихачей-самокатчиков на тротуарах».

Слабость государственной политики

Несмотря на признание проблемы на самом высоком уровне – Президент РФ поручил Минтрансу и МВД рассмотреть вопрос о введении запрета движения СИМ по тротуарам – реальные меры остаются недостаточными. Минтранс не видит необходимости в водительских правах для пользователей СИМ, а предлагаемые ограничения скорости (до 25 км/ч, а при сближении с пешеходами – до 10 км/ч) носят рекомендательный характер.

Ключевая проблема – отсутствие контроля над частными СИМ. Как отмечает вице-президент Национального автомобильного союза Ян Хайцеэр, «основная масса самых трагических случаев связана с частными электросамокатами». «Частников никто не контролирует, они никому не подвластны», «никакого контроля над частными электросамокатами и велосипедами не существует».

Предлагаемые меры – регистрация частных СИМ, установка номерных знаков, сертификация – пока не находят поддержки на федеральном уровне. Отсутствие единой федеральной политики приводит к тому, что регионы вынуждены вводить собственные запреты и правила, «зачастую руководствуясь принципом "кто во что горазд».

Выводы и рекомендации

1. Рост аварийности и летальности. В России при общем снижении количества ДТП с СИМ в 2025 году наблюдается рост числа погибших на 25,9 %. В 2026 году аварийность вновь растёт (на 32 % за пять месяцев). Краснодарский край занимает второе место в стране по числу ДТП с СИМ с ростом на 94,7 % в первом квартале 2026 года.

2. Высокий риск для пешеходов. Доля пешеходов среди пострадавших в ДТП с СИМ превышает 20 %, а около трети всех аварий происходит на тротуарах. Наиболее уязвимы дети и пожилые люди.

3. Преобладание частных СИМ в структуре аварийности. Основная масса трагических случаев связана с частными электросамокатами, которые не подлежат никакому контролю.

4. Лоббирование как барьер для регулирования. Кикшеринговые компании активно противодействуют принятию законодательных инициатив, что тормозит разработку эффективной нормативной базы.

5. Недостаточность государственной политики. Отсутствие обязательной регистрации, сертификации и идентификации частных СИМ, а также фрагментарность региональных подходов создают правовой вакуум.

Рекомендации:

- Ввести обязательную регистрацию и идентификацию (номерные знаки) для всех СИМ, включая частные;
- Законодательно закрепить штрафы за нарушения ПДД пользователями СИМ;
- Ограничить или запретить движение СИМ по тротуарам с обязательным созданием специализированной инфраструктуры за счёт операторов кикшеринга;
- Установить обязательные технические требования к СИМ (ограничение максимальной скорости, звуковые сигналы, световое оборудование);
- Разработать единую федеральную методику учёта ДТП с участием СИМ и систематический мониторинг;
- Ввести обязательное страхование гражданской ответственности для пользователей СИМ.

Литература

1. Регионы расставили по числу аварий с СИМ // Коммерсантъ. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/7654321 (дата обращения 25.08.2026).
2. Число аварий с электросамокатами в России выросло на 26 % // Эксперт. – 2026. – URL : https://expert.ru/2026/08/20/chislo-avariy-s-elektrosamokatami-v-rossii-vyroslo-na-26 (дата обращения 25.08.2026).
3. В России на 26 % снизилось число ДТП с участием самокатов // 78.ru. – 2026. – URL : https://78.ru/news/2026-08-15/v-rossii-na-26-snizilos-chislo-dtp-s-uchastiem-samokatov (дата обращения 25.08.2026).
4. В МВД рассказали, кто чаще всего гибнет в ДТП с электросамокатами // Фонтанка. – 2025. – Режим доступа: https://www.fontanka.ru/2025/12/10/123456/ (дата обращения 25.08.2026).
5. Аварийность с электросамокатами в России выросла более чем на 30 % // Коммерсантъ. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/7890123 (дата обращения 25.08.2026).
6. Справедливая Россия» предложила запретить электросамокаты на пешеходных зонах // Kubnews.ru. – 2026. – URL : https://kubnews.ru/politika/2026/08/20/spravedlivaya-rossiya-predlozhila-zapretit-elektrosamokaty-na-peshekhodnykh-zonakh (дата обращения 25.08.2026).
7. В Краснодарском крае участились ДТП с участием самокатчиков // KrasnodarMedia.su. – 2026. – URL : https://krasnodarmedia.su/news/2026/08/22/v-krasnodars kom-krae-uchastilis-dtp-s-uchastiem-samokatchikov (дата обращения 25.08.2026).
8. Невеселая статистика: Кубань вошла в тройку лидеров по количеству ДТП с электросамокатами // LiveKuban.ru. – 2026. – URL : https://livekuban.ru/2026/08/21/neveselaya-statistika-kuban-voshla-v-troyku-liderov-po-kolichestvu-dtp-s-elektrosamokatami (дата обращения 25.08.2026).
9. Краснодарский край лидирует в России по числу ДТП с электросамокатами // MK.ru. – 2026. – URL : https://www.mk.ru/social/2026/08/19/krasnodarskiy-kray-lidiruet-v-rossii-po-chislu-dtp-s-elektrosamokatami.html (дата обращения 25.08.2026).
10. Шейкин А. Сенатор призвал штрафовать электросамокатчиков // ОСН. – 2025. – URL : https://osn.ru/2025/12/05/senator-shejkin-prizval-shtrafovat-elektrosamo katchikov (дата обращения 25.08.2026).
11. Шейкин А. Сенатор призвал штрафовать электросамокатчиков // Газета.Ru. – 2025. – URL : https://www.gazeta.ru/auto/2025/12/05/12345678.shtml (дата обращения 25.08.2026).
12. Зачем нужна регистрация частных СИМ в России // НСН. – 2026. – URL : https://nsn.tv/2026/08/18/zachem-nuzhna-registratsiya-chastnykh-sim-v-rossii (дата обращения 25.08.2026).
13. Эрдман И. Эксперт: политики используют электросамокаты для предвыборного пиара // Avtovzglyad.ru. – 2026. – URL : https://avtovzglyad.ru/2026/08/17/ekspert-erdman-politiki-ispolzuyut-elektrosamokaty-dlya-predvybornogo-piara (дата обращения 25.08.2026).
14. Операторы пожаловались в прокуратуру на запреты кикшеринга // News.mail.ru. – 2026. – URL : https://news.mail.ru/politics/2026/08/16/operatory-pozhalovalis-v-prokuraturu-na-zaprety-kiksheringa (дата обращения 25.08.2026).
15. Володин В. Вячеслав Володин об электросамокатах // Duma.gov.ru. – 2025. – URL : http://duma.gov.ru/news/2025/11/20/123456 (дата обращения 25.08.2026).
16. E-Scooter-Unfälle: Mehr Tote und Verletzte // ZDFheute. – 2026. – URL : https://www.zdf.de/ nachrichten/panorama/e-scooter-unfaelle-tote-verletzte-2026-100.html (date of application 25.08.2026).
17. E-scooter accidents: 38 percent more crashes with injuries // Heise.de. – 2026. – URL : https://www.heise.de/news/E-scooter-accidents-38-percent-more-crashes-with-injuries-9876543.html (date of application 25.08.2026).

18. Monopattini elettrici tra leggi ignorate e pochi controlli // Corriere.it. – 2026. – URL : https://www.corriere.it/2026/08/20/monopattini-elettrici-leggi-ignorate-controlli (date of application 25.08.2026).
19. Global Road Traffic Deaths Decline 21 % Since 2011 // WHO. – 2026. – URL : https://www.who.int/news/item/2026-08-15-global-road-traffic-deaths-decline (date of application 25.08.2026).
20. The accelerating scars of electric micromobility // Academia.edu. – 2026. – URL : https://www.academia.edu/12345678/The_accelerating_scars_of_electric_micromobility (date of application 25.08.2026).

References

1. The regions are ranked by the number of accidents involving small electric vehicles // Kommersant. – 2026. – URL : https://www.kommersant.ru/doc/7654321 (date of application 08/25/2026).
2. The number of accidents with electric scooters in Russia increased by 26 % // Expert. – 2026. – URL : https://expert.ru/2026/08/20/chislo-avariy-s-elektrosamokatami-v-rossii-vyroslo-na-26 (date of application 08/25/2026).
3. In Russia, the number of Road accidents involving scooters // 78.ru. – 2026. – URL : https://78.ru/news/2026-08-15/v-rossii-na-26-snizilos-chislo-dtp-s-uchastiem-samokatov (date of application 08/25/2026).
4. The Ministry of Internal Affairs told who most often dies in accidents with electric scooters // Fontanka. – 2025. – URL : https://www.fontanka.ru/2025/12/10/123456 (date of application 25.08.2026).
5. Accident rates involving electric scooters in Russia have increased by more than 30 % // Kommersant. – 2026. – Access mode: https://www.kommersant.ru/doc/7890123 (date of application 25.08.2026).
6. A just Russia has proposed a ban on Segways in the pedestrian zones // Kubnews.ru. – 2026. – URL : https://kubnews.ru/politika/2026/08/20/spravedlivaya-rossiya-predlozhila-zapretit-elektrosamokaty-na-peshekhodnykh-zonakh (date of application 25.08.2026).
7. In the Krasnodar Krai became more frequent accidents involving cyclists // KrasnodarMedia.su. – 2026. – URL : https://krasnodarmedia.su/news/2026/08/22/v-krasnodarskom-krae-uchastilis-dtp-s-uchastiem-samokatchikov (date of application 25.08.2026).
8. Sad statistics: Kuban became the leaders in the number of accidents with Segways // LiveKuban.ru. – 2026. – URL : https://livekuban.ru/2026/08/21/neveselaya-statistika-kuban-voshla-v-troyku-liderov-po-kolichestvu-dtp-s-elektrosamokatami (date of application 25.08.2026).
9. Krasnodar Krai is Russia's leader in the number of accidents with Segways // MK.ru. – 2026. – URL : https://www.mk.ru/social/2026/08/19/krasnodarskiy-kray-lidiruet-v-rossii-po-chislu-dtp-s-elektrosamokatami.html (date of application 25.08.2026).
10. Sheikin, A. Senator urged to penalize electroseparation // DOS. – 2025. – URL : https://osn.ru/2025/12/05/senator-shejkin-prizval-shtrafovat-elektrosamokatchikov (date of application 25.08.2026).
11. Sheikin A. Senator urged to penalize electroseparation // Газета.Ru. – 2025. – URL : https://www.gazeta.ru/auto/2025/12/05/12345678.shtml (date of application 25.08.2026).
12. Why register of private SIM in Russia // NSN. – 2026. – URL : https://nsn.tv/2026/08/18/zachem-nuzhna-registratsiya-chastnykh-sim-v-rossii (date of application 25.08.2026).
13. Erdmann I. Expert: politicians use Segways for election campaign // Avtovzglyad.ru. – 2026. – URL : https://avtovzglyad.ru/2026/08/17/ekspert-erdman-politiki-ispolzuyut-elektrosamokaty-dlya-predvybornogo-piara (date of application 25.08.2026).
14. Operators have complained to the Prosecutor of the restrictions of chickering // News.mail.ru. – 2026. – URL : https://news.mail.ru/politics/2026/08/16/operatory-pozhalovalis-v-prokuraturu-na-zaprety-kiksheringa (date of application 25.08.2026).
15. Vyacheslav Volodin on electric scooters // Duma.gov.ru. – 2025. – URL : http://du ma.gov.ru/news/2025/11/20/123456 (date of application 25.08.2026).
16. E-Scooter-Unfälle: Mehr Tote und Verletzte // ZDFheute. – 2026. – URL : https://www.zdf.de/ nachrichten/panorama/e-scooter-unfaelle-tote-verletzte-2026-100.html (date of application 25.08.2026).
17. E-scooter accidents: 38 percent more crashes with injuries // Heise.de. – 2026. – URL : https://www.heise.de/news/E-scooter-accidents-38-percent-more-crashes-with-injuries-9876543.html (date of application 25.08.2026).
18. Monopattini elettrici tra leggi ignorate e pochi controlli // Corriere.it. – 2026. – URL : https://www.corriere.it/2026/08/20/monopattini-elettrici-leggi-ignorate-controlli (date of application 25.08.2026).
19. Global Road Traffic Deaths Decline 21 % Since 2011 // WHO. – 2026. – URL : https://www.who.int/news/item/2026-08-15-global-road-traffic-deaths-decline (date of application 25.08.2026).
20. The accelerating scars of electric micromobility // Academia.edu. – 2026. – URL : https://www.academia.edu/12345678/The_accelerating_scars_of_electric_micromobility (date of application 25.08.2026).

УДК 658.7:004.89

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ: МЕТОДЫ И ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ

♦♦♦♦♦

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR WAREHOUSE INVENTORY MANAGEMENT: METHODS AND CASE STUDIES

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

Котенкова И.Н.
Кубанский государственный технологический университет

Камнев М.О.
Кубанский государственный технологический университет

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

Kotenkova I.N.
Kuban State Technological University

Kamnev M.O.
Kuban State Technological University

Аннотация. В статье представлены варианты использования ИИ для управления складскими запасами, ключевые технологии и примеры их внедрения в России и за рубежом. Проведён сравнительный анализ подходов, выявлены общие тренды и различия. Обоснованы перспективы развития отечественных ИИ-решений в складской логистике.

Ключевые слова: искусственный интеллект, управление запасами, складская логистика, машинное обучение, прогнозирование спроса, роботизация, импортозамещение, цифровизация склада.

Annotation. The article presents methods of using AI for warehouse inventory management, key technologies, and examples of their implementation in Russia and abroad. A comparative analysis of approaches is conducted, common trends and differences are identified. The prospects for the development of domestic AI solutions in warehouse logistics are substantiated.

Keywords: artificial intelligence, inventory management, warehouse logistics, machine learning, demand forecasting, robotization, import substitution, warehouse digitalization.

Склады являются ключевым звеном цепей поставок. От эффективности управления складскими запасами напрямую зависят общие логистические издержки компании, скорость выполнения заказов и, в конечном счёте, удовлетворённость клиентов. По оценкам экспертов, затраты на хранение и управление запасами могут составлять до 30–50 % всех логистических расходов предприятия.

Традиционные методы управления запасами – ручной учёт, Excel-таблицы, простые формулы расчёта страхового запаса – перестают справляться с современными вызовами. Рост объёмов данных, ускорение рыночных изменений, сезонные колебания спроса, необходимость учитывать десятки внешних факторов – всё это требует более интеллектуальных подходов.

Искусственный интеллект предлагает новые возможности для решения задач управления складскими запасами. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать огромные массивы исторических данных, выявлять скрытые закономерности и строить точные прогнозы. Нейросети учитывают не только внутренние, но и внешние факторы – погоду, праздники, локальные события. Роботизированные системы с компьютерным зрением автоматизируют инвентаризацию и перемещение грузов.

Цель настоящей статьи – проанализировать современные методы применения искусственного интеллекта в управлении складскими запасами и показать конкретные примеры внедрения в России и за рубежом. Для начала проведём краткий обзор ключевых технологий и подходов.

Искусственный интеллект в управлении складскими запасами опирается на несколько базовых технологических направлений. Каждое из них решает свой круг задач. Машинное обучение – это основа большинства ИИ-решений в управлении запасами. Алгоритмы ML анализируют исторические данные о продажах, поставках и движении товаров, выявляют закономерности и строят прогнозы. Чем больше данных - тем точ-

нее прогноз. Применение на складе: прогнозирование спроса, выявление сезонных колебаний, определение оптимального уровня страховых запасов [1].

Нейросети – это более сложная форма машинного обучения, способная обрабатывать неструктурированные данные и учитывать сотни факторов одновременно. В отличие от классических моделей, нейросети могут «обучаться» на неполных или зашумлённых данных. Применение на складе: учёт внешних факторов (погода, праздники, экономическая ситуация, активность в соцсетях) при прогнозировании спроса [1].

Компьютерное зрение (Computer Vision) – технология распознавания объектов по изображениям. Роботы с камерами и ИИ-алгоритмами могут сканировать склады, считывать штрих-коды, проверять целостность упаковки и актуальность маркировки без участия человека. Применение на складе: роботизированная инвентаризация, контроль качества, автоматическая сортировка. [1]

Агентный ИИ (Agentic AI) – это системы, способные автономно принимать решения и выполнять действия без вмешательства человека. Агентный ИИ не просто анализирует данные, но и предпринимает шаги – например, формирует заказ поставщику или перенаправляет транспортный поток. Применение на складе: автоматическое пополнение запасов, управление складским двором, координация роботов [2].

Оптимизационные алгоритмы – математические методы поиска оптимальных решений в условиях ограничений. Часто сочетаются с машинным обучением для повышения эффективности. Применение на складе: расчёт оптимального уровня запасов, маршрутизация перемещения товаров, распределение задач между сотрудниками и роботами [1].

Amazon внедряет новые ИИ-решения – систему Wellspring, модель прогнозирования спроса и агентный ИИ – для оптимизации складской логистики и ускорения обработки заказов. Разработанная модель DeepFleet координирует роботов в реальном времени, а внедрение системы Sequoia повышает скорость размещения товаров на 75 % и сокращает время обработки заказов на 25 % [3].

Крупнейший в мире ритейлер Walmart использует ИИ для точного прогнозирования спроса и оптимизации размещения запасов. Система анализирует миллионы сигналов: историю продаж, сезонность, локальный спрос, погодные условия, загруженность магазинов и даже мощность водителей. Модели машинного обучения обрабатывают данные о продажах, поведении онлайн-покупателей, проводимых акциях и погодных факторах. Система способна выявлять разрыв между ожидаемым и реальным спросом и предлагать корректировки до того, как проблемы обнаружатся. Результат: сокращение случаев отсутствия товаров на полках более чем на 30 %, оптимизация складских запасов, раннее выявление рисков [4].

GXO Logistics – крупнейший в мире контрактный логистический провайдер. Компания провела успешный пилот с ИИ-роботом от Dexory для автоматической инвентаризации на складе в Нидерландах и расширяет его на США и Европу. Робот оснащён интеллектуальными камерами и датчиками, которые позволяют ему автономно перемещаться по складу и сканировать зоны высотой до 13 метров со скоростью 10000 паллет в час. На основе собранных данных робот создаёт цифровые модели состояния запасов в реальном времени [5]. Кроме того, GXO разработала платформу GXO IQ – ИИ-операционную систему, которая оркестрирует работу склада. В её основе – агентный ИИ, который оценивает свыше 7,8 миллиарда решений за один прогон для оптимизации маршрутов сборки и учитывает более 120 миллионов переменных для проактивного пополнения запасов. Результат: автоматизация инвентаризации, повышение точности учёта и безопасность сотрудников. Результат внедрения GXO IQ: рост производительности труда на 22 % на тестовых участках [6].

Китайский гигант Alibaba разработал ИИ-платформу DeepStock, которая управляет запасами более чем для миллиона комбинаций «товар-склад». Система использует гибридный подход, сочетающий несколько моделей машинного обучения, для прогнозирования спроса и оптимизации размещения товаров. ИИ сам прогнозирует спрос для каждого товара на каждом складе, автоматически перераспределяет запасы между складами, сокращает время хранения товаров без увеличения числа дефици-

тов. Результат: снижение издержек на хранение, повышение оборачиваемости запасов, улучшение доступности товаров для покупателей [7].

В России внедрение ИИ в управление складскими запасами активно набирает обороты. Ключевым драйвером этого процесса стало импортозамещение – после ухода западных вендоров (SAP, Oracle, F&R) российские компании вынуждены создавать собственные решения или адаптировать отечественные аналоги [1].

X5 Group (управляет сетями «Пятёрочка», «Перекрёсток» и «Чижик») разработала и внедрила собственную ИИ-платформу для управления поставками, полностью отказавшись от зарубежного ПО. Система использует ИИ, оптимизационные алгоритмы и модели машинного обучения для работы с большими объёмами данных. ИИ полностью автоматизирует управление поставками, определяет оптимальное количество товара на полках с учётом спроса, сезонности и логистических условий, мгновенно реагирует на изменения спроса [2]. Результат: к концу первого квартала 2026 года система развёрнута во всех 25 тысячах магазинов двух сетей. В 2025 году X5 перешла к масштабированию ИИ во все ключевые процессы, что принесло около 5 млрд рублей дополнительной операционной прибыли [8].

После ухода иностранного поставщика F&R «Лента» выбрала российскую платформу Napoleon AI-Driven Replenishment для автоматизации пополнения запасов. Платформа прогнозирует спрос и автоматизирует процессы пополнения, которые раньше требовали множества ручных корректировок. ИИ сам прогнозирует спрос с учётом множества факторов, автоматизирует процессы пополнения запасов, заменяет ушедшее западное решение F&R. Результат: на первом этапе система покрывает около 60 % операционных потребностей сети. Проект рассчитан на два года с поэтапным масштабированием на все форматы магазинов [9].

«Магнит» приступил к масштабному внедрению собственной ИИ-системы Forecasting & Replenishment (F&R) для управления товарными запасами. Алгоритмы машинного обучения анализируют большие массивы данных: историю продаж, погодные условия, локальные события и даже активность в соцсетях. ИИ прогнозирует спрос с точностью до 90 %, оптимизирует пополнение на всей цепочке поставок, анализирует внешние факторы, включая погоду и соцсети. Результат: первая в России ИИ-система такого масштаба для офлайн-ритейла на полностью отечественном ПО. Проект уже прошел этап MVP (апрель 2025 года) и сейчас находится на стадии активного развертывания, которое завершится к 2027 году [10].

Анализ приведённых примеров позволяет выделить как общие черты, так и существенные различия в подходах России и зарубежных стран к внедрению ИИ в управление складскими запасами (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение российского и зарубежного рынка

Критерий	Россия	Зарубежье
Драйвер внедрения	Импортозамещение. Уход западных вендеров	Рыночная конкуренция, стремление к технологическому лидерству
Основной фокус ИИ	Прогнозирование спроса, автоматизация пополнения запасов	Сквозная оптимизация, агентный ИИ, роботизация, цифровые двойники
Уровень зрелости	Активное внедрение, поиск собственных решений	Устоявшиеся экосистемы
Главные игроки	Крупные ритейлеры (X5, «Магнит», «Лента»), IT-разработчики (Napoleon IT)	Глобальные корпорации (Amazon, Walmart, GXO) и технологические стартапы
Технологии	Машинное обучение, ML-прогнозы	Интеграция с роботами, IoT, генеративный ИИ, агентный ИИ
Масштаб	До 25.000 точек (X5 Group)	Более 1 млн роботов (Amazon)

Разные драйверы – похожие технологии. И в России, и за рубежом используются схожие технологические подходы – машинное обучение, нейросети, агентный ИИ. Однако мотивы внедрения принципиально разные: на Западе это стремление к лидер-

ству и конкурентное преимущество, в России – необходимость заместить ушедшие иностранные решения.

Россия – на стадии активного догоняющего развития. Если в США и Европе ИИ-решения уже стали промышленным стандартом, то в России многие проекты находятся на этапе пилотного внедрения или масштабирования. Однако темпы роста впечатляют: X5 Group уже получила 5 млрд рублей эффекта, а «Магнит» создаёт первую полностью отечественную систему F&R.

Разный фокус применения. Зарубежные компании делают упор на сквозную оптимизацию всей цепи поставок, интеграцию ИИ с робототехникой и создание цифровых двойников. Российские компании пока сфокусированы на прогнозировании спроса и автоматизации пополнения - базовых, но критически важных задачах.

Общий тренд – движение к автономным складам. И в России, и в мире наблюдается переход от отдельных ИИ-инструментов к комплексным интеллектуальным системам, способным управлять складом с минимальным участием человека.

Проведённый анализ показывает, что искусственный интеллект действительно помогает решать ключевые задачи управления складскими запасами. Основные направления применения ИИ включают:

Прогнозирование спроса – алгоритмы машинного обучения и нейросети позволяют строить точные прогнозы с учётом десятков внешних факторов.

Автоматическое пополнение запасов – системы самостоятельно формируют заказы поставщикам, избегая дефицита и перепроизводства.

Роботизированная инвентаризация – роботы с компьютерным зрением полностью исключают ручной труд при проверке остатков.

Агентное управление – ИИ-агенты автономно принимают решения и координируют работу склада.

Примеры из России и мира показывают, что технологии схожие, но мотивы и контекст внедрения разные. За рубежом ИИ в управлении запасами – это про «как стать ещё лучше»: технологическое лидерство, сквозная оптимизация, агентный ИИ. В России – про «как не потерять управление»: ключевой драйвер – импортозамещение после ухода западных вендоров.

Практическая значимость проведённого исследования состоит в систематизации опыта внедрения ИИ в управление складскими запасами, что может быть полезно для компаний, рассматривающих цифровую трансформацию своих складских процессов.

Литература

1. Искусственный интеллект в складской логистике: глобальные тренды и российская реальность // Intekey. – 2024. – URL: intekey.ru
2. «Пятёрочка» и «Перекрёсток» переходят на систему пополнения запасов разработки X5 // ComNews. – 2025. – URL: comnews.ru
3. Amazon announces 3 AI-powered innovations to simplify and accelerate fulfillment // About Amazon. – 2024. – URL : aboutamazon.com
4. Inside the AI network orchestrating Walmart's fastest holiday deliveries yet // Walmart Corporate. – 2024. – URL : public.walmart.com
5. GXO optimizes inventory management with AI-powered robotics // GXO Logistics. – 2024. – URL : gxo.com
6. GXO IQ: The intelligent logistics platform // GXO Logistics. – 2024. – URL : gxo.com
7. Alibaba's DeepStock: AI-powered inventory management system // Alibaba Group. – 2023. – URL : alibabagroup.com
8. X5 Group generates RUB 5 bln in additional operating profit through AI solutions // X5 Group. – 2025. – URL: x5.ru
9. «Группа Лента» внедряет автоматизированную систему пополнения запасов от Napoleon IT // Retail Cnews. – 2025. – URL: retail.cnews.ru
10. «Магнит» разрабатывает собственную систему прогнозирования спроса и планирования заказов // ComNews. – 2025. – URL : comnews.ru
11. Транспортная логистика: технологические особенности и компетенции кадров : для аспирантов вузов, научных работников транспортной сферы и специалистов-практиков / Д.А. Дрючин [и др.]. – М., Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 176 с. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX

12. Грузовые перевозки: учеб. пособие / А.А. Изюмский, И.С. Сенин, С.В. Коцурба. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2025. – 303 с.
13. Коновалова Т.В. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2024. – 256 с. ISBN 978-5-8333-1355-8 EDN SZMALB
14. Транспортная логистика: технологические особенности и компетенции кадров: для аспирантов вузов, научных работников транспортной сферы и специалистов-практиков / Д.А. Дрючин [и др.]. – М., Вологда : Инфра-Инженерия, 2026. – 176 с. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX
15. Коновалова Т.В. Анализ и прогнозирование транспортных потоков с использованием Big Data и искусственного интеллекта в условиях городского трафика / Т.В. Коновалова, В.С. Ивина // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: материалы IV Международной научно-практической конференции, Москва, 25 сентября 2024 года. – М. : Российский университет транспорта, 2024. – С. 27–30. EDN HHROXO
16. Концепция развития транспортной стратегии России / Т.В. Коновалова [и др.]. // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 66–67. EDN NLGTMC
17. Оценка проектных решений на транспорте / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2020. – 357 с. ISBN 978-5-8333-0991-9 EDN ZHXYPM

References

1. Artificial Intelligence in Warehouse Logistics: Global Trends and the Russian Reality // Intekey. – 2024. – URL : intekey.ru
2. Pyaterochka and Perekrestok Transition to an Inventory Replenishment System Developed by X5 // ComNews. – 2025. – URL : comnews.ru
3. Amazon announces 3 AI-powered innovations to simplify and accelerate fulfillment // About Amazon. – 2024. – URL : aboutamazon.com
4. Inside the AI network orchestrating Walmart's fastest holiday deliveries yet // Walmart Corporate. – 2024. – URL : public.walmart.com
5. GXO optimizes inventory management with AI-powered robotics // GXO Logistics. – 2024. – URL : gxo.com
6. GXO IQ: The intelligent logistics platform // GXO Logistics. – 2024. – URL : gxo.com
7. Alibaba's DeepStock: AI-powered inventory management system // Alibaba Group. – 2023. – URL : alibabagroup.com
8. X5 Group generates RUB 5 bln in additional operating profit through AI solutions // X5 Group. – 2025. – URL : x5.ru
9. Lenta Group implements an automated inventory replenishment system from Napoleon IT // Retail Cnews. – 2025. – URL : retail.cnews.ru
10. Magnit develops its own demand forecasting and order planning system // ComNews. – 2025. – URL : comnews.ru
11. Transport Logistics: Technological Features and Personnel Competencies : for university postgraduate students, researchers in the transport sector, and practitioners / D.A. Dryuchin [et al.]. – M., Vologda : Infra-Inzheneriya, 2026. – 176 p. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX
12. Freight Transportation : textbook / A.A. Izyumsky, I.S. Senin, S.V. Kotsurba. – Krasnodar : Kuban State University of Technology (KubSTU), 2025. – 303 p.
13. Konovalova T.V. Organization of Transport Services and Safety of the Transportation Process / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.N. Kotenkova. – Krasnodar : Kuban State University of Technology, 2024. – 256 p. ISBN 978-5-8333-1355-8 EDN SZMALB
14. Transport Logistics: Technological Features and Personnel Competencies: For Postgraduate Students, Researchers in the Transport Sector, and Practitioners / D.A. Dryuchin [et al.]. – M., Vologda : Infra-Inzheneriya, 2026. – 176 p. ISBN 978-5-9729-2779-1 EDN RZULQX
15. Konovalova T.V. Analysis and Forecasting of Transport Flows Using Big Data and Artificial Intelligence in Urban Traffic Conditions / T.V. Konovalova, V.S. Ivina // Digital Transformation of Transport: Challenges and Prospects: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Moscow, September 25, 2024. – M. : Russian University of Transport, 2024. – P. 27–30. EDN HHROXO
16. Concept for the Development of Russia’s Transport Strategy / T.V. Konovalova [et al.]. // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 66–67. EDN NLGTMC
17. Evaluation of Design Solutions in Transport / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar : Kuban State University of Technology, 2020. – 357 p. ISBN 978-5-8333-0991-9 EDN ZHXYPM

УДК 681.586

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ

♦♦♦♦♦

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE STATIC CHARACTERISTIC OF A PRESSURE TRANSDUCER

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Матвеева Анастасия Родионовна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
matveeva.ar@mail.ru

Аннотация. Описана методика экспериментального определения индивидуальной статической характеристики преобразователя давления. Она аппроксимирована линейным уравнением. Коэффициенты этого уравнения рассчитаны методом наименьших квадратов.

Ключевые слова: преобразователь давления, статическая характеристика, метод наименьших квадратов.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Matveeva Anastasia Rodionovna
Student,
Kuban State University of Technology
matveeva.ar@mail.ru

Annotation. The method for experimentally determining the individual static characteristic of a pressure transducer is described. It is approximated by a linear equation. The coefficients of this equation are calculated using the least squares method.

Keywords: pressure transducer, static characteristic, least squares method.

Давление является одним из технологических параметров, характеризующих работу различных теплоэнергетических установок при производстве тепловой и электрической энергии. Это обусловливает необходимость измерения давления пара, воды, газа, мазута, воздуха и разрежения в элементах и газоходах основного и вспомогательного оборудования. Объектами измерения давления являются паровые котлы давлением свыше 0,07 МПа, водогрейные котлы с температурой воды не свыше 115 °С, котельные, деаэрационно-питательные установки атмосферного типа, мазутонасосные, редукционные, редукционно-охладительные, водоподогревательные, водоподготовительные и др. технологические установки и агрегаты [1].

В статье представлены результаты экспериментального определения индивидуальной статической характеристики тензометрического полупроводникового преобразователя давления (ПД) типа «ОВЕН» ПД100-ДИ [2]. Он осуществляет преобразование избыточного давления измеряемой среды на входе, изменяющегося в пределах от 0 до 100 кПА, в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4 … 20 мА на выходе.

Исследования проводились на лабораторном стенде в виде типового комплекта учебного оборудования «Измерительные приборы давления, расхода, температуры» производства ООО НПП «Учебная техника – Профи» [3]. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.

Преобразователь давления ПД установлен в гидросистеме лабораторной установки (рис. 1). Подача воды в гидросистему осуществляется из бака-аккумулятора через кран К1 насосом Н, снабженным электродвигателем ЭД. Из гидросистемы через кран К2 вода сливается в бак-аккумулятор.

Измерение давления воды в гидросистеме (на входе ПД) осуществляется трубчатопружинным манометром М типа РОСМА ТМ5 (0…1,0 МПа). Для измерения силы тока I на выходе ПД в цепь его питания включен миллиамперметр А.

Статическая характеристика (СХ) ПД $I = f(P)$ определена экспериментально в результате измерения установившихся значений давления воды *P* на его входе при

различной степени открытия крана К2 и соответствующих им установившихся значений силы тока I на выходе преобразователя. Координаты точек экспериментальной СХ ПД (P, I) представлены в таблице 1.

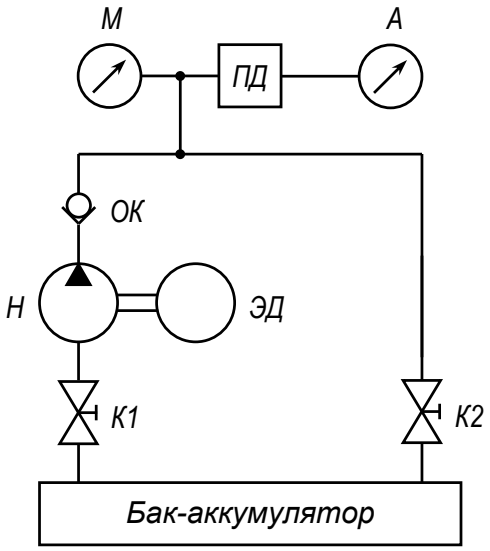

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Таблица 1 – Экспериментальная СХ ПД

P, кПа	0	10	16	20	24	28	30	34	38	44
I, мА	3,43	5,81	6,72	7,31	7,96	8,67	8,92	9,44	10,20	11,04

Экспериментальная СХ ПД *I* = *f*(*P*) аппроксимирована линейным уравнением:

$$I_{\text{a}} = a + bP, \tag{1}$$

оценки неизвестных параметров a и b которого определены методом наименьших квадратов:

$$\text{a} = 3{,}86 \text{ мА}; \ \text{b} = 0{,}17 \text{ мА/кПа}. \tag{2}$$

Уравнение номинальной СХ ПД имеет вид:

$$I_{\text{ном}} = I_0 + kP, \tag{3}$$

где I_0 – значения силы тока на выходе ПД нулевом значении давления на его входе (*P* = 0); *k* – коэффициент передачи ПД.

Номинальные параметры ПД определены по его паспортным данным [2]:

$$I_0 = 4 \text{ мА}; \tag{4}$$

$$k = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} = \frac{20 - 4}{100 - 0} = 0{,}16 \text{ мА/кПа}. \tag{5}$$

В результате приведения аппроксимирующего уравнения СХ ПД (1) к виду (3) получены его индивидуальные параметры:

$$I_0 = a = 3{,}87 \text{ мА}; \ k = b = 0{,}17 \text{ мА/кПа}. \tag{6}$$

Таким образом, уравнение аппроксимирующей (индивидуальной) СХ ПД (1) принимает вид:

$$I_{\text{а}} = 3{,}86 + 0{,}17P. \tag{7}$$

Экспериментальная, аппроксимирующая и номинальная СХ ПД построены на рисунке 2.

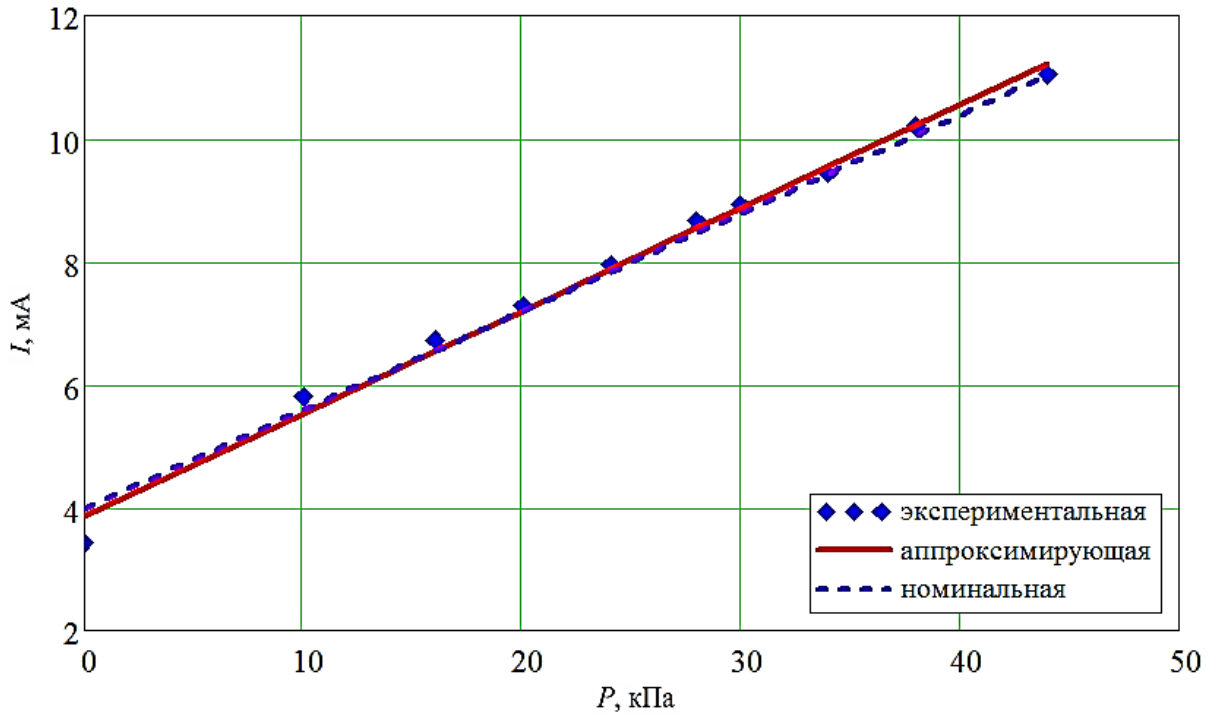

Рисунок 2 – Статические характеристики преобразователя давления

Литература

1. Общая энергетика / В.В. Шапошников [и др.]. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2020. – 287 с.
2. Преобразователь давления измерительный ПД100. Руководство по эксплуатации КУВФ.406233.100 РЭ. – М. : ПО «ОВЕН», 2016. – 40 с.
3. Типовой комплект учебного оборудования «Измерительные приборы давления, расхода, температуры». Руководство по эксплуатации ИПДРТ-01-00.000.000 РЭ. – Челябинск : ООО НПП «Учебная техника – Профи», 2016. – 19 с.

References

1. General Power Engineering / V.V. Shaposhnikov [et al.]. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2020. – 287 p.
2. Measuring pressure transducer PD100. Operating manual KUVF.406233.100 RE. – M. : PO «OVEN», 2016. – 40 p.
3. Standard set of training equipment «Pressure, flow, and temperature measuring instruments». Operating manual IPDRT-01-00.000.000 RE. – Chelyabinsk : LLC NPP «Educational Equipment – Profi», 2016. – 19 p.

УДК 621.3.018.782.3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПУСКОВОЙ ДИАГРАММЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

♦♦♦♦♦

A COMPUTATIONAL COMPLEX FOR DETERMINING THE TIME CONSTANTS OF A DC ELECTRIC DRIVE BASED ON ITS EXPERIMENTAL ANGULAR VELOCITY START UP DIAGRAM

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Плотников Михаил Игоревич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
mashkov175009@mail.ru

Аннотация. Описаны возможности вычислительного комплекса, предназначенного для определения электромеханической и электромагнитной постоянных времени электропривода постоянного тока. Их значения рассчитываются по диаграмме угловой скорости, полученной экспериментально при пуске электропривода в ходе ее аппроксимации методом наименьших квадратов. В качестве регрессионных моделей используются уравнения, вид которых определяется соотношением названных постоянных времени, соответствующим динамическим свойствам идентифицируемого электропривода. Решение рассматриваемой задачи реализуется с использованием вычислительных средств системы компьютерной математики Mathcad.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока, электромагнитная и электромеханическая постоянные времени, идентификация, диаграмма угловой скорости, метод наименьших квадратов.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Plotnikov Mikhail Igorevich
Student,
Kuban State University of Technology
mashkov175009@mail.ru

Annotation. The capabilities of the computational complex designed to determine the electromechanical and electromagnetic time constants of a DC electric drive are described. Their values are calculated based on the angular velocity diagram obtained experimentally during the start up of the electric drive, during its approximation using the least squares method. Equations are used as regression models; the form of these equations is determined by the ratio of the aforementioned time constants, i.e., by the dynamic properties of the identified electric drive. The solution to the problem under consideration is implemented using the computational tools of the Mathcad computer mathematics system.

Keywords: DC electric drive, electromagnetic and electromechanical time constants, identification, angular velocity diagram, least squares method.

Данный вычислительный комплекс предназначен для определения электромагнитной и электромеханической постоянных времени электропривода (ЭП) с двигателями постоянного тока независимого возбуждения, который при неизменном магнитном потоке двигателя, отсутствии нагрузки и жестких механических связях традиционно описывают дифференциальным уравнением [1]:

$$T_{\text{м}} T_{\text{я}} \frac{d^2\omega(t)}{dt^2} + T_{\text{м}} \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = \frac{U(t)}{c}, \qquad (1)$$

где $T_{\text{м}}$; $T_{\text{я}}$ – соответственно электромеханическая и электромагнитная постоянные времени ЭП; ω – угловая скорость ЭП; U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя; c – коэффициент ЭДС электродвигателя при номинальном значении магнитного потока.

В этом случае ЭП имеет передаточную функцию вида:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{T_{\text{м}} T_{\text{я}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1}. \tag{2}$$

Динамические свойства рассматриваемого ЭП зависят от соотношения его электромеханической и электромагнитной постоянных времени и могут быть оценены по корням характеристического уравнения:

$$T_{\text{м}} T_{\text{я}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1 = 0. \tag{3}$$

Уравнение (3) может иметь:

– два отрицательных действительных неравных корня при $T_{\text{м}} > 4T_{\text{я}}$;

– два отрицательных действительных равных корня при $T_{\text{м}} = 4T_{\text{я}}$;

– комплексные сопряженные корни при $T_{\text{м}} < 4T_{\text{я}}$ с отрицательной действительной частью (вариант мнимых корней не рассматривается).

В каждом из этих трех случаев передаточная функция ЭП (2) может быть представлена в эквивалентом виде:

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \tag{4}$$

$$W_2(s) = \frac{k}{(T_3 s + 1)^2}; \tag{5}$$

$$W_3(s) = \frac{k}{T_4^2 s^2 + 2\xi T_4 s + 1}, \tag{6}$$

где k; ξ – коэффициенты соответственно передачи и затухания ЭП; $T_1 \div T_4$ – постоянные времени ЭП.

Параметры динамических моделей ЭП (4)-(6) связаны с его электромеханической и электромагнитной постоянными времени соотношениями:

$$T_{1,2} = 0{,}5\left[T_{\text{м}} \pm \sqrt{T_{\text{м}}(T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}})}\right]; \tag{7}$$

$$T_3 = 0{,}5T_{\text{м}} = 2T_{\text{я}}; \tag{8}$$

$$T_4 = \sqrt{T_{\text{м}} T_{\text{я}}}; \qquad \xi = 0{,}5\sqrt{T_{\text{м}} T_{\text{я}}^{-1}}. \tag{9}$$

При этом экспериментальные разгонные характеристики ЭП могут быть аппроксимированы соответствующими передаточным функциям (4) (6) выражениями [2]:

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left[1 - \frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}}\right) e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}\left(1 - \sqrt{\frac{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}{T_{\text{м}}}}\right)t} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}}\right) e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}\left(1 + \sqrt{\frac{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}{T_{\text{м}}}}\right)t}\right]; \tag{10}$$

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left[1 - \left(1 + \frac{1}{2T_{\text{я}}}t\right)e^{-\frac{2}{T_{\text{м}}}t}\right]; \quad (11)$$

$$\omega(t) = \frac{U}{c}\left\{1 - e^{-\frac{1}{2T_{\text{я}}}t} \cdot \left[\sqrt{\frac{T_{\text{м}}}{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}}\sin\left(\frac{1}{2T_{\text{я}}} \cdot \sqrt{\frac{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{м}}}} \cdot t\right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \cos\left(\frac{1}{2T_{\text{я}}} \cdot \sqrt{\frac{4T_{\text{я}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{м}}}} \cdot t\right)\right]\right\}. \quad (12)$$

Выражения (10)-(12) являются решениями уравнения (1) при $U(0) = U$, $\omega(0) = 0$ и сформулированных ранее условиях в виде передаточных функций (4)-(6), которым в каждом из рассматриваемых случаев должны удовлетворять постоянные времени ЭП $T_{\text{м}}$ и $T_{\text{я}}$.

Зависимости (10)-(12) используются в качестве уравнений регрессии, которыми аппроксимируются экспериментальные диаграммы изменения угловой скорости ЭП во времени $\omega(t)$ при его пуске без нагрузки.

Выбор соответствующего выражения зависит от динамических свойств идентифицируемого ЭП – характера изменения во времени его угловой скорости при пуске без нагрузки. Значения неизвестных коэффициентов аппроксимирующих выражений (10)-(12) – постоянных времени ЭП $T_{\text{м}}$ и $T_{\text{я}}$ рассчитываются методом наименьших квадратов по координатами точек (t_i, ω_i) экспериментальной кривой разгона ЭП $\omega(t)$, что обеспечивает описание ими этой кривой с минимальной среднеквадратичной погрешностью при известных значениях переменных *U* и *c*.

Реализуемая вычислительным комплексом процедура параметрической идентификации ЭП осуществляется средствами системы компьютерной математики Mathcad.

Литература

1. Ключев В.И. Теория электропривода. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
2. Нестеров С.В. Параметрическая идентификация электроприводов технологических установок предприятий пищевой промышленности / С.В. Нестеров, А.В. Нестеров // Пищевые инновации и биотехнологии: Материалы Международной научной конференции. – Кемерово : КемТИПП, 2015. – С. 185–186.

References

1. Klyuchev V.I. Theory of Electric Drive. – M. : Energoatomizdat, 1985. – 560 p.
2. Nesterov S.V. Parametric identification of electric drives of technological installations at food industry enterprises / S.V. Nesterov, A.V. Nesterov // Food Innovations and Biotechnology: Proceedings of the International Scientific Conference. – Kemerovo : KemTIPP, 2015. – P. 185–186.

УДК 66.047

ОЦЕНКА ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУШИЛЬНОЙ ПЕЧИ КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЯЩЕГО СЛОЯ СУЛЬФИТА МАГНИЯ

♦♦♦♦♦

ASSESSMENT OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF A DRYING OVEN AS AN OBJECT FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF A FLUIDIZED BED OF MAGNESIUM SULFITE BASED ON EXPERIMENTAL DATA

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Клименко Роман Максимович
студент,
Кубанский государственный технологический университет
roman.klimenko.02@bk.ru

Аннотация. По значениям коэффициентов передаточной функции сушильной печи, полученной экспериментально по каналу «расход топливного газа – температура кипящего слоя сульфита магния», установлено, что печь эквивалентна двум последовательно соединенным типовым колебательным звеньям. Вследствие этого определены оценки ее динамических свойств в виде постоянных времени и коэффициентов затухания. Их значения найдены в результате решения системы уравнений, связывающих динамические параметры сушильной печи с коэффициентами ее передаточной функции.

Ключевые слова: сушильная печь, передаточная функция, параметрическая идентификация, кривая разгона.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Klimenko Roman Maksimovich
Student,
Kuban State University of Technology
roman.klimenko.02@bk.ru

Annotation. Based on the values of the coefficients of the transfer function of the drying furnace, obtained experimentally via the channel «fuel gas consumption – temperature of the fluidized bed of magnesium sulfite», it was established that the furnace is equivalent to two serially connected typical oscillatory units. As a result, estimates of its dynamic properties were determined in the form of time constants and damping coefficients. Their values were found by solving a system of equations linking the dynamic parameters of the drying furnace with the coefficients of its transfer function.

Keywords: drying oven, transfer function, parametric identification, response curve.

Динамические свойства сушильной печи (СП) по каналу «расход топливного газа – температура кипящего слоя сульфита магния» описываются обыкновенным дифференциальным уравнением четвертого порядка:

$$a_4 \frac{d^4\theta(t)}{dt^4} + a_3 \frac{d^3\theta(t)}{dt^3} + a_2 \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\theta(t)}{dt} + \theta(t) = bB(t), \quad (1)$$

где θ – температура кипящего слоя сульфита магния в СП; *B* – расход топливного газа; $a_1 \div a_4$; *b* – коэффициенты, связанные с физическими параметрами СП.

В работе [1] динамические свойства данной установки представлены соответствующей дифференциальному уравнению (1) передаточной функцией:

$$\frac{\theta(s)}{B(s)} = \frac{b}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1}, \quad (2)$$

(здесь s – оператор преобразования Лапласа), а также методом площадей определены значения ее коэффициентов $a_1 \div a_4$ по экспериментальной разгонной характеристике СП, которая представляет собой кривую изменения во времени температуры сульфита

магния в кипящем слое $\theta(t)$, полученную вследствие ступенчатого изменения расхода топливного газа на ΔB. Там же традиционным методом определено значение коэффициента *b*.

В результате описанных действий передаточная функция (2) СП принимает вид [1]:

$$\frac{\theta(s)}{B(s)} = \frac{1{,}235}{2{,}47\cdot 10^{8}s^{4} + 4{,}17\cdot 10^{6}s^{2} + 5{,}41\cdot 10^{4}s^{2} + 3{,}62\cdot 10^{2}s + 1}. \quad (3)$$

Однако, она не позволяет в явном виде получить оценки динамических свойств (параметров) СП.

При таких значениях коэффициентов $a_1 \div a_4$ знаменатель передаточной функции (3) – характеристическое уравнение:

$$2{,}47\cdot 10^{8}s^{4} + 4{,}17\cdot 10^{6}s^{2} + 5{,}41\cdot 10^{4}s^{2} + 3{,}62\cdot 10^{2}s + 1 = 0 \quad (4)$$

имеет две пары комплексных сопряженных корней с отрицательными действительными частями:

$$s_{1;2} = -5{,}292\cdot 10^{-3} \pm j2{,}508\cdot 10^{-3}; \quad (5)$$

$$s_{3,4} = -3{,}150\cdot 10^{-3} \pm j0{,}010. \quad (6)$$

Очевидно, что в этом случае передаточная функция (2) СП может быть приведена к традиционному (типовому) виду:

$$\frac{\theta(s)}{B(s)} = \frac{k}{(T_1^2 s^2 + 2\xi_1 T_1 s + 1)(T_2^2 s^2 + 2\xi_2 T_2 s + 1)}, \quad (7)$$

где *k* – коэффициент передачи СП; $T_1; T_2$ – постоянные времени СП; $\xi_1; \xi_2$ – коэффициенты затухания СП.

Из выражения (7) следует, что СП по каналу «расход топливного газа – температура кипящего слоя сульфита магния» эквивалентна двум последовательно соединенным типовым колебательным звеньям с постоянными времени T_1 и T_2 и коэффициентами затухания ξ_1 и ξ_2.

Комплексные корни характеристического уравнения (4) обусловлены наличием в экспериментальной кривой разгона СП колебательных составляющих. В связи с этим представляет интерес определение динамических параметров СП T_1, T_2, ξ_1, ξ_2, являющихся коэффициентами ее передаточной функции (7).

Поскольку передаточные функции (2) и (7) эквивалентны, их коэффициенты связаны соотношениями:

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= 2(\xi_1 T_1 + \xi_2 T_2); \\ a_2 &= T_1^2 + 4\xi_1\xi_2 T_1 T_2 + T_2^2; \\ a_3 &= 2T_1 T_2(\xi_1 T_2 + \xi_2 T_1); \\ a_4 &= T_1^2 T_2^2. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

$$b = k. \quad (9)$$

Это обстоятельство позволяет по известным значениям коэффициентов $a_1 \div a_4$, определенным методом площадей в работе [1] по экспериментальной кривой разгона

СП $\theta(t)$, рассчитать значения параметров установки T_1, T_2, ξ_1, ξ_2. Они получены в результате решения системы уравнений (8):

$$T_1 = 170{,}774 \text{ с}; \quad \xi_1 = 0{,}904; \tag{10}$$

$$T_2 = 92{,}029 \text{ с}; \quad \xi_2 = 0{,}290. \tag{11}$$

Коэффициент передачи k СП, являющийся оценкой ее статических свойств, определяется в соответствии с выражением (9):

$$k = b = 1{,}235 \text{ °C}/(\text{м}^3/\text{ч}). \tag{12}$$

Экспериментальная разгонная характеристика СП $\theta(t)$ может быть аппроксимирована решением дифференциального уравнения (1), полученным при условии, что $B(t) = \Delta B1(t)$ и соответствующим структуре его передаточной функции (7):

$$\theta_a(t) = \theta_0 + k\Delta B\left[1 - A_1 e^{-\frac{\xi_1}{T_1}t}\sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi_1^2}}{T_1}t + \varphi_1\right) + A_2 e^{-\frac{\xi_2}{T_2}t}\sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi_2^2}}{T_2}t + \varphi_2\right)\right], \tag{13}$$

где θ_0 – значение температуры кипящего слоя сульфита магния в СП в момент ступенчатого изменения расхода топливного газа на ΔB;

$$A_1 = \frac{T_1^2}{\sqrt{(1-\xi_1^2)\left\{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4T_1T_2[T_1T_2(\xi_1^2 + \xi_2^2) - \xi_1\xi_2(T_1^2 + T_2^2)]\right\}}}; \tag{14}$$

$$A_2 = \frac{T_2^2}{\sqrt{(1-\xi_2^2)\left\{(T_1^2 - T_2^2)^2 + 4T_1T_2[T_1T_2(\xi_1^2 + \xi_2^2) - \xi_1\xi_2(T_1^2 + T_2^2)]\right\}}}; \tag{15}$$

$$\varphi_1 = \text{arctg}\left(\frac{\sqrt{1-\xi_1^2}(T_2^2 - T_1^2)}{\xi_1(T_1^2 + T_2^2) - 2\xi_2T_1T_2}\right) + 2\text{arctg}\left(\frac{\sqrt{1-\xi_1^2}}{\xi_1}\right); \tag{16}$$

$$\varphi_2 = \text{arctg}\left(\frac{\sqrt{1-\xi_2^2}(T_1^2 - T_2^2)}{\xi_2(T_1^2 + T_2^2) - 2\xi_1T_1T_2}\right) + 2\text{arctg}\left(\frac{\sqrt{1-\xi_2^2}}{\xi_2}\right). \tag{17}$$

Литература

1. Петровский В.С. Автоматизация сушки сульфита магния в кипящем слое / В.С. Петровский, В.А. Живописцев // Автоматизация процессов сушки в промышленности и сельском хозяйстве: Сборник статей. – М. : Машгиз, 1963. – С. 67–74.

References

1. Petrovsky V.S. Automation of drying magnesium sulfite in a fluidized bed / V.S. Petrovsky, V.A. Zhivopishtsev // Automation of drying processes in industry and agriculture: Collection of articles. – M. : Mashgiz, 1963. – P. 67–74.

УДК 621.3.018.782.3

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ ПОЛЮСОВ ЕЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ НА КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ

♦♦♦♦♦

ASSESSMENT OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF A TWO MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM BASED ON THE LOCATION OF THE POLES OF ITS TRANSFER FUNCTION IN THE COMPLEX PLANE

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Рубцов Максим Сергеевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
rubikmaxim@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследований двухмассовой электромеханической системы с электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения и пренебрежимо малым влиянием электромагнитной инерции его якорной цепи на динамические свойства системы. Определены условия, которым должны удовлетворять обобщенные параметры данной системы, чтобы она обладала требуемыми динамическими свойствами.

Ключевые слова: двухмассовая электромеханическая система, переходные процессы, корни характеристического уравнения.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Rubtsov Maxim Sergeevich
Student,
Kuban State University of Technology
rubikmaxim@gmail.com

Annotation. The results of studies of a two mass electromechanical system with a DC motor of independent excitation and a negligibly small influence of the electromagnetic inertia of its armature circuit on the dynamic properties of the system are presented. The conditions that the generalized parameters of this system must satisfy in order for it to have the required dynamic properties are determined.

Keywords: two mass electromechanical system, transient processes, roots of the characteristic equation.

Объектом исследования является двухмассовая электромеханическая система (ДЭМС) с электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения, малым влиянием электромагнитной инерции якорной цепи которого на динамические свойства этой системы допустимо пренебречь [1]. Рассматриваемая ДЭМС по каналу регулирующего воздействия имеет передаточную функцию [2]:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{c} \frac{1}{\frac{T_{\text{м}}}{\Omega_{12}^2} s^3 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} s^2 + T_{\text{м}} s + 1}, \qquad (1)$$

где ω – угловая скорость механизма; U – напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя; c – коэффициент ЭДС и момента электродвигателя при номинальном магнитном потоке; $T_{\text{м}}$ – электромеханическая постоянная времени ДЭМС; Ω_{12} – собственная частота двухмассовой механической системы; γ – коэффициент, учитывающий распределение масс; s – оператор преобразования Лапласа.

В работе [3] представлены некоторые результаты оценки динамических свойств такой ДЭМС, которые были получены в ходе анализа их связи с полюсами передаточной функции (1) – корнями характеристического уравнения системы:

$$\frac{T_{\text{м}}}{\Omega_{12}^2}s^3+\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2}s^2+T_{\text{м}}s+1=0. \quad (2)$$

В той же работе показано, что уравнение (2) при определенных значениях параметров ДЭМС имеет действительный отрицательный корень и два комплексных сопряженных корня с отрицательной действительной частью:

$$s_1=-\alpha_1; \quad (3)$$

$$s_{2,3}=-\alpha_2\pm j\beta_2. \quad (4)$$

Очевидно, что такой вариант корней (полюсов) возможен только при отрицательном дискриминанте характеристического уравнения (2), которое в этом случае может быть приведено к виду:

$$(s+\alpha_1)(s^2+2\alpha_2 s+\alpha_2^2+\beta_2^2)=0. \quad (5)$$

Однако, при одном и том же виде характеристического уравнения (5) и передаточной функции (1) ДЭМС несколько по-разному проявляет свои динамические свойства. Каждому из этих проявлений соответствует один из трех раскладов корней характеристического уравнения (5), отличающихся взаимным их расположением на комплексной плоскости в левой ее части [3].

В настоящей работе рассматривается частный случай расклада корней характеристического уравнения (5) при условии, что $\alpha_1>\alpha_2$, и:

$$\alpha_1=\sqrt{\alpha_2^2+\beta_2^2}; \quad (6)$$

$$\alpha_2=\frac{\sqrt{3}}{2}\alpha_1; \quad (7)$$

$$\beta_2=0{,}5\alpha_1. \quad (8)$$

При выполнении условий (6)-(8) корни характеристического уравнение (5) располагаются на окружности радиуса α_1 симметрично относительно действительной оси в левой части комплексной плоскости, как это показано на рисунке 1.

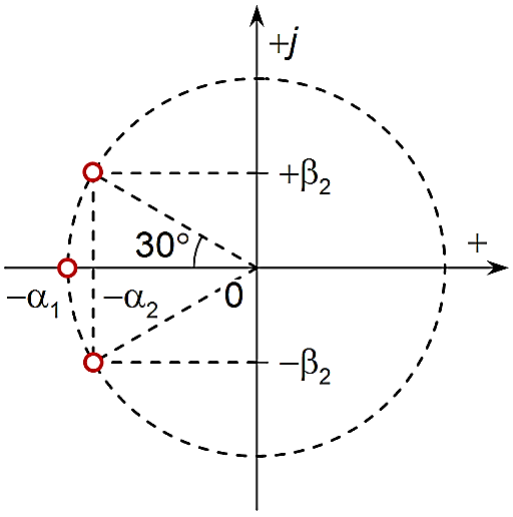

Рисунок 1 – Расположение корней характеристического уравнения ДЭМС на комплексной плоскости

Само же уравнение (5) принимает вид:

$$(s+\alpha_1)(s^2+\sqrt{3}\alpha_1 s+\alpha_1^2)=0 \tag{9}$$

или

$$\frac{1}{\alpha_1^3}s^3+\frac{1+\sqrt{3}}{\alpha_1^2}s^2+\frac{1+\sqrt{3}}{\alpha_1}s+1=0. \tag{10}$$

Поскольку характеристические уравнения (2) и (10) эквивалентны, справедливы следующие соотношения:

$$\left.\begin{aligned}\frac{T_{\text{м}}}{\Omega_{12}^2}&=\frac{1}{\alpha_1^3};\\ \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2}&=\frac{1+\sqrt{3}}{\alpha_1^2};\\ T_{\text{м}}&=\frac{1+\sqrt{3}}{\alpha_1}.\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Соотношения (11) позволяют определить условие, которому должны удовлетворять обобщенные параметры рассматриваемой ДЭМС, чтобы она обладала динамическими свойствами, соответствующими рассматриваемому расположению полюсов передаточной функции (1) системы. Это условие имеет вид:

$$\left.\begin{aligned}\gamma&=(1+\sqrt{3})^2;\\ T_{\text{м}}^2\Omega_{12}^2&=(1+\sqrt{3})^3.\end{aligned}\right\} \tag{12}$$

Литература

1. Ключев В.И. Теория электропривода. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
2. Добробаба Ю.П. Критерии качества переходных процессов в электромеханической системе / Ю.П. Добробаба, С.В. Нестеров // Известия вузов. Электромеханика. – 1990. – № 12. – С. 91–94.
3. Нестеров С.В. Анализ связи корней характеристического уравнения двухмассовой электромеханической системы с ее динамическими свойствами // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2026. – № 3. – С. 489–503.

References

1. Klyuchev V.I. Theory of Electric Drive. – M. : Energoatomizdat, 1985. – 560 p.
2. Dobrobaba Yu.P. Quality Criteria for Transient Processes in an Electromechanical System / Yu.P. Dobrobaba, S.V. Nesterov // Izvestiya Vuzov. Electromechanics, 1990. – № 12. – P. 91–94.
3. Nesterov S.V. Analysis of the relationship between the roots of the characteristic equation of a two mass electromechanical system and its dynamic properties // Electronic network polythematic journal «Scientific Works of KubSTU». – 2026. – № 3. – P. 489–503.

УДК 69.07

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ЗАТЯЖКАМИ И ХОЛСТАМИ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА

♦♦♦♦♦

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR REINFORCING REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH HORIZONTAL TIES AND CARBON FIBER CANVASES

Пивень Андрей Владимирович
студент,
Кубанский государственный технологический университет
info@apiven.ru

Леонова Анна Николаевна
кандидат технических наук,
доцент,
Кубанский государственный технологический университет
lan_kubstu@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты сравнительного анализа двух методов усиления железобетонных балок: метод применения горизонтальных затяжек и метод усиления холстами из углеволокна. В работе рассмотрены положительные и отрицательные характеристики каждого из представленных методов усиления. На основе проведенного сравнительного анализа составлен вывод о целесообразности и экономичности применения каждого из двух методов усиления.

Ключевые слова: реконструкция, усиление, балка, железобетонные конструкции, распределение нагрузок, затяжка, элементы усиления, ремонтные работы.

Piven Andrey Vladimirovich
Student,
Kuban State University of Technology
info@apiven.ru

Leonova Anna Nikolaevna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Kuban State University of Technology
lan_kubstu@mail.ru

Annotation. This article presents the results of a comparative analysis of two methods of reinforcing reinforced concrete beams: the method of using horizontal tightening and the method of reinforcement with carbon fiber canvases. The work considers the positive and negative characteristics of each of the presented methods of amplification. On the basis of the comparative analysis, a conclusion is drawn about the expediency and cost-effectiveness of using each of the two methods of reinforcement.

Keywords: reconstruction, reinforcement, beam, reinforced concrete structures, load distribution, tightening, reinforcement elements, repair work.

Железобетон – наиболее распространенный комплекс материалов и элементов, применяемый при строительстве зданий и сооружений. Железобетонные конструкции, применяемые при возведении объектов капитального строительства, имеют множество преимуществ и положительных качеств, среди них можно выделить основные: прочность, большая пространственная жесткость, экономичность, удобство монтажа и проектирования, долговечность [1].

Однако, как и любые другие строительные конструкции, железобетонные изделия и элементы подвержены разрушению, в первую очередь из-за механического воздействия и превышения расчетных допустимых показателей суммарных нагрузок на конструкции.

Железобетонные балки промышленных зданий и сооружений одни из немногих конструкций, которые наиболее часто подвержены воздействиям механического и технологического характера.

Ввиду увеличения суммарных нагрузок, вызванных технологической модернизацией производственных процессов, усиления вышележащих конструкций, износа материалов, механических повреждений при монтаже и эксплуатации нередко появляется необходимость проведения ремонтных работ по усилению рассматриваемых строительных железобетонных конструкций [2]. В данной статье подробно рассмотрим способы усиления железобетонных балок производственных зданий и сооружений.

Усиление железобетонных балок горизонтальными стальными затяжками. Представленный метод усиления является распространенным в большинстве стран мира. Данный метод применяется уже более 70 лет. Суть рассматриваемого метода заключается в применении стальных стержней, которые крепятся к закладным элементам с помощью специальных крепежных элементов после чего натягиваются до проектных значений.

Натяжение стальных стержней производится одновременно с двух сторон усиливаемой железобетонной конструкции и также одновременно фиксируется. Процесс натягивания стержней является легким и не трудозатратным из-за простоты натяжения стержней, так как натяжение в стальных болтах, применяемых для фиксации и натягивания стержней, примерно в 10 раз меньше, чем в самих натягиваемых стержнях.

Для увеличения натяжения в стержнях применяют также усиливающие шпренгельные устройства, которые монтируются на стержни и дополнительно стягивают их друг к другу. Применение дополнительных усиливающих элементов зачастую производится на однопролетных балках и при необходимости наличия больших усилий в стержнях.

Натягиваемые стержни крепят к заранее установленным закладным деталям внутри железобетонной конструкции. Для монтажа закладных деталей необходимо провести работы по сверлению конструкций и последующему бетонированию [1, 2].

Контроль натяжения стальных стержней при проведении ремонтных работ по усилению контролируется динамометрами различного типа.

Представленный метод усиления прост в монтаже, также положительной особенностью данного метода является полная взаимозаменяемость всех элементов усиления и низкая себестоимость материалов, что делает данный метод экономически выгодным при проведении ремонта. Применение данного метода усиления является весьма эффективным, дополнительные натянутые стержни позволяют повысить общую несущую способность железобетонных балок.

Однако у данного метода есть и недостатки, такие как незащищенность от воздействия внешней агрессивной среды, низкая огнестойкость и необходимость в дополнительной обработке конструкции усиления огнезащитными составами, также стоит отметить незащищенность от внешнего механического воздействия и возможность образования трещин и сколов и общего снижения несущей способности в усиливаемой железобетонной конструкции при монтаже закладных деталей.

Усиление железобетонных балок холстами из углеволокна. Настоящий метод относится к типу внешнего армирования строительных конструкций зданий и сооружений. Данный метод усиления ненамного моложе представленного ранее метода усиления конструкций натянутыми стержнями, однако его популярность ниже ввиду высокой стоимости работ по усилению и материалов [3].

Однако настоящий метод усиления железобетонных конструкций имеет множество положительных характеристик, таких как высокая прочность нитей холстов, исключительная адгезия материалов, простота монтажа и конечно влияние холстов из углеволокна на повышение прочностных характеристик усиливаемой железобетонной конструкции. Данный метод позволяет увеличить прочность железобетонных конструкций на изгиб до 65 %, а прочность строительной конструкции на сжатие увеличивается в 2 раза.

Применение данного метода усиления зачастую применяется в зданиях и сооружениях, расположенных в местах с нестабильной сейсмической активностью [4].

Рассматриваемый метод усиления железобетонных строительных конструкций имеет очень простую технологию монтажа. Предварительно перед устройством холстов из углеволокна необходимо произвести очистку поверхностей железобетонной балки от пыли и грязи, произвести заделку трещин и сколов. Стоит учесть, что для осуществления данного метода необходимы ровные чистые поверхности конструкций, данный метод невозможно реализовать на неровных поверхностях, имеющих сколы, трещины и иные дефекты. После очистки и ремонта необходимо произвести огрунтовку поверхностей специальными составами. После завершения подготовительных работ можно приступать к наклейке холстов.

Наклеивание холстов из углеволокна производится на подготовленную поверхность при помощи клея, основанного на эпоксидных смолах. Первоначально произво-

дят наклейку продольных элементов (холстов) внешнего армирования вдоль нижнего пояса усиливаемой балки. Площадь наклейки холстов и шаг заранее рассчитывают.

В местах опирания балки на нижележащие строительные конструкции производят наклейку основных поперечных элементов (холстов) внешнего армирования под расчётным углом. После производят наклейку поперечных элементов (холстов) с определенным шагом по длине всей усиливаемой балки.

Рассматриваемый метод усиления является наиболее эффективным с точки зрения повышения несущей способности железобетонных строительных конструкций. Также анализируя опыт применения холстов из композитных материалов, стоит учесть малый вес конструкции усиления, сравнительно небольшой вес холстов позволяет существенно снизить нагрузку на нижележащие строительные конструкции при проведении ремонтных работ по усилению, это также положительно влияет на быстроту и легкость монтажа холстов [5].

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что выбор между натянутыми стержнями и холстами из углеволокна – это выбор между максимальной эффективностью и рациональностью. Натянутые стальные стержни – наиболее распространенный метод усиления железобетонных балок и других строительных конструкций. Применение данного метода является массовым, оно позволяет получить прочную конструкцию готовую к долгой эксплуатации за относительно небольшую стоимость. Холсты их углеволокна являются незаменимыми, если существует необходимость увеличения несущей способности строительных железобетонных конструкций в несколько раз. Высокая цена данного метода усиления вполне окупается надежностью проектных решений, простотой монтажа и легким весом материалов. Каждый строитель и проектировщик должен самостоятельно определять для себя и своего проекта необходимый именно ему и заказчику метод усиления основываясь на условиях эксплуатации ремонтируемых строительных конструкций, климатических и иных показателях и характеристиках.

Литература

1. Емельянчик А.А. О некоторых современных технологиях усиления строительных конструкций // РГОТУПС., Наука и техника транспорта. – 2006. – № 4. – С. 73–75.
2. Жердеева С.А. Анализ напряженно деформированного состояния железобетонных конструкций при сложном напряженном состоянии / С.А. Жердеева, Е.В. Фигурина // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2009. – № 2. – С. 188–192.
3. Применение углеродных холстов и сеток для повышения сейсмостойкости кирпичных зданий при землетрясениях / А.В. Грановкий [и др.] // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 3(14). – С. 21–42.
4. Гениев Г.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов / Г.А. Гениев, А.С. Курбанов, Ф.А. Самедов. – М. : «Интербук», 1993.
5. Медведев С.В. Сейсмические воздействия на здания и сооружения / С.В. Медведев, Б.К. Карапетян, В.А. Быковский. – М., 1968.

References

1. Emelyanchik A.A. On Some Modern Technologies for Strengthening Construction Structures // RGOTUPS., Science and Technology of Transport. – 2006. – № 4. – P. 73–75.
2. Zherdeeva S.A. Analysis of the stress-strain state of reinforced concrete structures under a complex stressed state / S.A. Zherdeeva, E.V. Figurina // Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences – Development of Regions of Siberia. – 2009. – № 2. – P.188–192.
3. Application of carbon canvases and grids to improve the seismic resistance of brick buildings during earthquakes / A.V. Granovsky [et al.] // Bulletin of the Research Center «Construction». – 2017. – № 3(14). – P. 21–42.
4. Geniev G.A. Issues of strength and plasticity of anisotropic materials / G.A. Geniev, A.S. Kurbanov, F.A. Samedov. – M. : Interbuk, 1993.
5. Medvedev S.V. Seismic Effects on Buildings and Structures / S.V. Medvedev, B.K. Karapetyan, V.A. Bykovsky. – M., 1968.

УДК 628.164

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ

♦♦♦♦♦

COMPARATIVE TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF DEVICES MECHANICAL WATER PURIFICATION OF WATER TREATMENT SYSTEMS

Терехов В.В.
кандидат технических наук,
доцент,
Краснодарское высшее военное авиационное
ордена Кутузова училище летчиков
kvvaul@mil.ru

Аннотация. В статье проведён сравнительный технико-экономический анализ устройств механической очистки воды систем водоподготовки. Для сравнения конструктивных и технических характеристик устройств грубой механической очистки воды используются качественные и количественные критерии оценки. Установлено, что рассматриваемые в исследовании одиночные устройства механической очистки фильтры и неразборные инерционные устройства очистки, а также гидроциклоны и разборные инерционные устройства очистки имеют сопоставимую массу. Рассмотренные в статье многоступенчатые системы очистки воды на фильтрах обладают высоким удельным экономическим показателем, который отражает стоимость единицы пропускной способности устройств очистки. В ходе исследования установлено, что одиночные инерционные устройства очистки могут соединяться в различные схемы соединений или агрегатироваться для решения конкретных технических задач (очистка воды от частиц разной дисперсной фазы, очистка воды от нефтепродуктов и т.д.). Выявлено, что инерционные агрегатированные устройства очистки имеют худшие экономические и массогабаритные показатели в сравнении с одиночными, соединёнными механически в конструкционные схемы. В результате исследования установлено, что инерционные устройства по своим техническим характеристикам, экономическим и массогабаритным показателям не проигрывают уже существующим устройствам механической очистки воды, а по таким показателям как стоимость, масса, объём неразборные устройства очистки значительно превосходят и могут занимать промежуточную нишу между фильтрами и гидроциклонами.

Ключевые слова: инерционное устройство очистки жидкости, фильтр, гидроциклон, центробежная очистка, агрегатирование, коэффициент гидравлического сопротивления, механическое соединение, многоступенчатые системы очистки.

Terekhov V.V.
PhD in Technical,
Associate Professor,
Krasnodar Higher Military Flight School
kvvaul@mil.ru

Annotation. The article provides a comparative technical and economic analysis of mechanical water treatment devices used in water treatment systems. To compare the design and technical characteristics of coarse mechanical water treatment devices, qualitative and quantitative assessment criteria are used. It has been established that the single mechanical treatment devices considered in the study – filters and non disassemblable inertial cleaning devices, as well as hydrocyclones and disassemblable inertial cleaning devices – have comparable mass. The multi stage water treatment systems based on filters discussed in the article have a high specific economic indicator, which reflects the cost per unit of throughput capacity of the cleaning devices. The study established that single inertial cleaning devices can be connected in various configurations or aggregated to solve specific technical tasks (water purification from particles of different dispersed phases, water purification from petroleum products, etc.). It was found that inertial aggregated cleaning devices have worse economic and mass and size indicators compared to single devices mechanically connected in design configurations. The study established that inertial devices are not inferior to existing mechanical water purification devices in terms of their technical characteristics, economic indicators, and mass and size parameters. Moreover, in terms of cost, weight, and volume, non disassemblable purification devices significantly outperform them and can occupy an intermediate position between filters and hydrocyclones.

Keywords: inertial liquid purification device, filter, hydrocyclone, centrifugal purification, aggregation, hydraulic resistance coefficient, mechanical connection, multi stage purification systems.

Введение

Среди наиболее частых проблем водоподготовки для бытовых и промышленных нужд, требующих решения с помощью специальных установок и систем, является деминерализация, удаление механических примесей, деаэрация и многие другие. Создание и эксплуатация таких систем является актуальной задачей, при реализации которой должны использоваться современные достижения науки и техники. Механическая очистка воды – первый этап в комплексной системе водоподготовки. Её задача –

физически убрать крупные нерастворимые примеси: песок, окалину, ил, ржавчину и т.д. Существующие системы механической очистки воды обладают рядом недостатков, таких как завышенная стоимость, сложность конструкции, трудоёмкость изготовления. В связи с этим рассматривается применение в системах водоподготовки перспективного устройства механической очистки воды на основе спирали Архимеда (далее инерционные устройства очистки (УО)) [1, 2]. Для оценки целесообразности применения инерционных УО вместо существующих устройств проведём сравнительный анализ экономических и массогабаритных показателей (ЭиМГП).

Сравнительный анализ устройств

Цель – провести сравнительный анализ, выявить достоинства и недостатки использования устройств очистки на основе спирали Архимеда [1, 2], относительно традиционных устройств механической очистки воды при разной производительности одиночных устройств, а также в составе многоступенчатых систем очистки.

В ГОСТах нет единой, жёстко закреплённой классификации механической очистки воды по тонкости фильтрации. Однако некоторые стандарты рассматривают характеристики фильтров, устройств для механической очистки воды и эффективность их очистки от частиц определённого размера [3, 4].

В таблице 1 представлена классификация по степени механической очистки на основе анализа информационных данных заводов производителей и характеристик устройств очистки воды, представленных в розничной сети, торговых и интернет-площадках России [5, 6, 7, 8].

Таблица 1 – Классификация по степени механической очистки воды

№ п/п	Степень очистки, мкм	Тип фильтрации	Удаляемые загрязнения
1.	от 50 до 500	грубая	песок, крупная ржавчина, окалина
2.	от 20 до 50	средняя	мелкий песок, частицы ржавчины
3.	от 5 до 20	тонкая	ил, мелкая взвесь, мутность
4.	от 1 до 5	очень тонкая	коллоидные частицы, бактерии
5.	от 0,3 до 1	ультратонкая	субмикронные частицы, микроорганизмы

Устройства механической очистки воды применяются в самых разных сферах: бытовое водоснабжение, промышленные и сельскохозяйственные системы водоснабжения, а также жилищно-коммунальное хозяйство.

Для проведения сравнительного анализа определим объект исследования – устройства механической очистки воды систем водоподготовки.

В работе исследуются устройства механической очистки воды со степенью очистки от 50 до 500 мкм.

Проанализируем типы *устройств для механической очистки воды*:

– фильтры грубой очистки;
– песколовки;
– отстойники (статические и динамические);
– гидроциклоны;
– сепараторы.

Песколовки и отстойники – сложные сооружения, основное их применение - системы механической очистки ливневых канализаций и сточных вод, задача - очистка крупных частиц и мусора размером от 1 мм и более [9]. В связи с этим песколовки и отстойники в дальнейшем как объект исследования для механической очистки в системах водоподготовки рассматриваться не будут.

Сепараторы используются для тонкой водоочистки, как правило, это сложный агрегат с множеством внутренних узлов, гидроциклон – частный вид сепаратора для очистки жидкости. В связи с этим сепараторы в дальнейшем как объект исследования для механической очистки в системах водоподготовки рассматриваться не будут.

Для сравнения конструктивных и технических характеристик устройств механической очистки воды используем качественные и количественные критерии оценки. Для качественной оценки устройств очистки применяем два критерия: *принцип работы и тип фильтрации*, и второй критерий оценки – *способ обслуживания* устройств очистки. Для

количественной оценки применим критерии: *коэффициент гидравлического сопротивления*, а также *экономические и массогабаритные показатели* (ЭиМГП) [10, 11].

Критерии для сравнения устройств механической очистки воды

1. Принцип работы и тип фильтрации [12, 13, 14, 15, 16, 17]:

– фильтры грубой очистки (табл. 2):

Таблица 2 – Качественная оценка фильтров грубой очистки

№ п/п	Типы фильтров	Фильтрующий элемент	Метод фильтрации
1.	сетчатые фильтры	сетка с ячейками	частицы задерживаются на поверхности
2.	дисковые фильтры	пакет полимерных дисков с канавками, при сжатии образуют сложную систему каналов, задерживающих механические частицы	частицы задерживаются в объёме
3.	картриджные фильтры	сменный картридж из вспененного полипропилена, намотанной полимерной нити и т.д.	частицы задерживаются в объёме
4.	засыпные фильтры	очистка происходит в слое зернистого материала (кварцевый песок, антрацит и т.д.)	частицы задерживаются в объёме

– устройства центробежной очистки (табл. 3):

Таблица 3 – Качественная оценка центробежных устройств очистки

№ п/п	Тип устройства очистки	Способ очистки	Осаждение частиц
1.	гидроциклоны	работает за счёт центробежной силы, которая отбрасывает тяжёлые частицы к стенкам устройства	частицы выводятся через нижнюю коническую часть устройства к месту сбора шлама (шламосборник, грязесборник)
2.	инерционные УО (сборные и не разборные)	работает за счёт центробежной силы, которая отбрасывает тяжёлые частицы к стенкам устройства	частицы выводятся через отводной канал к месту сбора шлама (шламосборник, грязесборник)

Следовательно, рассмотрены (выявлены) два основных принципа работы устройств механической очистки: фильтрование и очистка загрязнённой жидкости за счёт центробежной силы. Фильтрование основано на прохождение жидкости под давлением через барьеры из различных материалов, которые задерживают загрязнения с помощью механического процеживания. Центробежная очистка (гидроциклоны и инерционные УО) осуществляется за счёт разделения по плотности загрязнённой жидкости и частиц, более тяжёлые частицы и примеси отбрасываются центробежной силой к внешним стенкам устройства и выводятся наружу, а очищенная вода уходит через выходной патрубок для дальнейшего использования.

2. Способ обслуживания [12, 13, 14, 15, 16, 17]:

– фильтры грубой очистки (табл. 4):

Таблица 4 – Качественная оценка фильтров грубой очистки

№ п/п	Типы фильтров	Способ обслуживания фильтров
1.	сетчатые фильтры	часто самопромывные (ручная или автоматическая промывка)
2.	дисковые фильтры	требуют разборки для промывки дисков
3.	картриджные фильтры	сменный модуль, который надо менять в зависимости от загрязнения воды
4.	засыпные фильтры	регенерация осуществляется обратной промывкой (ручная или автоматическая промывка, при большом расходе воды)

– устройства центробежной очистки (табл. 5):

Таблица 5 – Качественная оценка центробежных устройств очистки

№ п/п	Тип устройства очистки	Способ обслуживания
1.	гидроциклоны	не требуется расходных материалов, очистка происходит за счёт гидравлических условий
2.	инерционные УО (разборные и не разборные)	не требуется расходных материалов, очистка происходит за счёт гидравлических условий

Можно сделать вывод, что обслуживание фильтров заключается в промывке фильтрующего элемента или его замене. На промывку фильтров затрачивается время и вода, чем больше производительность фильтра, тем больше тратится ресурсов на его восстановление. Устройства центробежной очистки не требуют обслуживания.

3. Коэффициент гидравлического сопротивления [18, 19]

Коэффициент гидравлического сопротивления характеризует потери энергии (напора) потока жидкости при движении через элементы системы очистки. Чем выше коэффициент, тем больше потери давления на преодоление сопротивления - и тем больше энергозатраты на работу насоса для поддержания давления в системе очистки. Коэффициент сопротивления используется в гидравлических расчётах для определения падения давления и подбора мощности насосного оборудования.

Для оценки коэффициентов гидравлического сопротивления устройств механической очистки воды воспользуемся выражением Дарси-Вайсбаха [18, 19]:

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \vartheta^2}{2}. \quad (1)$$

где Δp – дифференциальное давление (потери напора на УО), определяется как $p_1 - p_2 = \Delta p$ (*Па*); p_1 и p_2 – давление на входе и выходе устройства очистки; ϑ – скорость потока жидкости ($^{\text{м}}/_{\text{с}}$); ρ – плотность жидкости ($^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$); ξ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Из выражения (1) определим коэффициент гидравлического сопротивления в общем виде:

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta^2}. \quad (2)$$

а) *Определим коэффициент гидравлического сопротивления гидроциклонов*:

Коэффициент гидравлического сопротивления гидроциклонов вычислим из выражения (3):

$$\xi_{\text{гц}} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta_{\text{вх}}^2}, \quad (3)$$

где $\vartheta_{\text{вх}}$ – скорость потока жидкости на входе гидроциклона.

Определим скорость потока жидкости и сечение патрубка на входе гидроциклона: $\vartheta_{\text{вх}} = \frac{Q}{S_{\text{вх}}}$, где Q – расход воды; $S_{\text{вх}}$ – сечение входного патрубка. $S_{\text{вх}} = (\frac{\pi \cdot d_{\text{вх}}^2}{4})$, где $d_{\text{вх}}$ – диаметр входного патрубка.

Для расчёта $\xi_{\text{гц}}$ необходимы технические параметры гидроциклона, которые предоставляются заводом изготовителем (Q, $d_{\text{вх}}$ и Δp). В технической литературе приводятся различные значения дифференциального давления Δp в гидроциклонах, основанные на экспериментальных данных или численных моделях. Значение дифференциального давления Δp зависит от геометрии (размера) гидроциклона, его назначения и технологической схемы, в зависимости от типа устройства Δp может изменяются в пределах от 30 до 500 кПа [18, 19].

б) *Определим коэффициент гидравлического сопротивления фильтров*:

Коэффициент гидравлического сопротивления фильтров вычислим из выражения (4):

$$\xi_{\text{ф}} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta^2}, \quad (4)$$

где Δp – перепад давления на фильтре; ϑ – скорость потока жидкости.

Типовые потери давления на механических фильтрах грубой очистки (сетчатые и картриджные) изменяются от 1 до 10 кПа [18, 19].

г) *Определим коэффициент гидравлического сопротивления для инерционных УО на основе спирали Архимеда* [20, 21]:

Коэффициент гидравлического сопротивления фильтров вычислим из выражения (5):

$$\xi_{\text{спир}} = \frac{d_{\text{вх}}}{L} \cdot \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta^2}, \quad (5)$$

где Δp – дифференциальное давление на УО; $d_{\text{вх}}$ – внутренний диаметр основного канала УО; L – длина основного канала УО; ϑ – скорость потока жидкости в основном канале УО.

Методика расчёта коэффициента гидравлического сопротивления для устройств грубой механической очистки:

1. $S_{\text{вх}} = (\frac{\pi \cdot d_{\text{вх}}^2}{4})$;
2. $\vartheta_{\text{вх}} = \frac{Q}{S_{\text{вх}}}$;
3. $\xi_{\text{гц}} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta_{\text{вх}}^2}$;
4. $\xi_{\text{ф}} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta^2}$;
5. $\xi_{\text{спир}} = \frac{d}{L} \cdot \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \vartheta^2}$.

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000\ {}^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$.

Для проведения расчётов $\xi_{\text{спир}}$ воспользуемся данными, полученными во время проведения экспериментальных исследований.

Проведение сравнительного анализа коэффициентов гидравлического сопротивления устройств очистки возможно при одинаковых входных параметрах. Зададим стандартные размеры диаметров входных патрубков устройств, наиболее часто используемых в трубопроводных системах водоподготовки и водоотведения. Наибольшее влияние на коэффициент гидравлического сопротивления оказывает режим течения жидкости, так как он прямо пропорционален входному диаметру устройства механической очистки и скорости течения жидкости, $Re = \frac{D_{\text{г}} \cdot \vartheta}{\nu}$. Расчёты проведем при одинаковом режиме течения жидкости, когда $Re \approx 30\,000$, все результаты вычислений занесём в таблицу 6.

Таблица 6 – Значение коэффициентов гидравлического сопротивления

№ п/п	$d_{\text{вх}}$, мм	Q, ${}^{\text{м}^3}/_{\text{с}}$	$S_{\text{вх}}$, м^2	$\vartheta_{\text{вх}}$, м/с	Re	$\xi_{\text{ф}}$	$\xi_{\text{гц}}$	$\xi_{\text{спир}}$
1.	12,7	0,000313	0,00013	2,41	30607	0,34	10,33	0,099
2.	25,4	0,000612	0,00051	1,2	30480	0,69	13,89	0,19
3.	38,1	0,00088	0,0011	0,8	30048	0,78	15,6	0,39
4.	50,8	0,00144	0,0024	0,6	30480	0,83	16,7	0,46

Итак, сравнительный анализ данных таблицы 6 свидетельствует о том, что:

– коэффициент гидравлического сопротивления устройств инерционной очистки [1, 2] соизмерим с коэффициентом гидравлического сопротивления фильтров;

– коэффициент у всех устройств грубой механической очистки с увеличением диаметра входного патрубка при неизменной величине числа Рейнольдса увеличивается коэффициент гидравлического сопротивления. Это вытекает из выражения Дарси-Вайсбаха (1) и связано со скоростью течения жидкости в устройствах механической очистки;

– коэффициент коэффициент гидравлического сопротивления инерционных УО имеет наименьшее значение среди сравниваемых устройств механической очистки;

– коэффициент гидроциклоны имеют максимальное значение коэффициента гидравлического сопротивления среди сравниваемых устройств механической очистки воды.

4. Экономические и массогабаритные показатели (ЭиМГП):

Массу, объём и стоимость фильтров и гидроциклонов получим из технических характеристик устройств механической очистки, которые предоставляют заводы производители на своих официальных сайтах, в интернет-магазинах и на маркетплейсах.

Сравнение возможно при одинаковых входных параметрах устройств. Общим параметром для всех устройств механической очистки является входной диаметр (диаметр входного патрубка) и расход. Обобщим полученную информацию о фильтрах и гидроциклонах, занесём её в таблицы 7, 8 и 9. В таблицах обозначим:

$m_{\text{ф}}$, $m_{\text{гц}}$, $m_{\text{сп}}$ – масса фильтров, гидроциклонов и инерционных УО;

$V_{\text{ф}}$, $V_{\text{гц}}$, $V_{\text{сп}}$ – объём фильтров, гидроциклонов и инерционных УО;

$C_{\text{ф}}$, $C_{\text{гц}}$, $C_{\text{сп}}$ – стоимость фильтров, гидроциклонов и инерционных УО;

$C_{\text{уд.}}$ – удельный экономический показатель, который отражает стоимость единицы пропускной способности устройства механической очистки. Помогает оценить эффективность использования ресурсов при выборе и эксплуатации устройств механической очистки.

Таблица 7 – Значение ЭиМГП фильтров

№ п/п	Наименование	Q, $м^3/ч$	$d_{\text{вх}}$, мм	$d_{\text{вх}}$, дм	$m_{\text{ф}}$, кг	$V_{\text{ф}}$, $м^3$	$C_{\text{ф}}$, руб.	$C_{\text{уд.}}$, $руб/м^3/ч$
1.	Фильтр Vaxt 1/2 [22]	0,9	12,7	$1/2$	0,8	0,0008	4 542	5 047
2.	Фильтр Наша Сталь ВВ20 1 [23]	4,5	25,4	1	2,1	0,0011	14 490	3 220
3.	Фильтр BWT Infinity HWS $1\,1/2$ (Германия) [24]	9	38,1	$1\,1/2$	7,25	0,008	80 000	8 889
4.	Фильтр BWT Infinity AP 2 (Германия) [25]	11	50,8	2	9	0,009	145 000	13 181

Таблица 8 – Значение ЭиМГП гидроциклонов

№ п/п	Наименование	Q, $м^3/ч$	$d_{\text{вх}}$, мм	$d_{\text{вх}}$, дм	$m_{\text{гц}}$, кг	$V_{\text{гц}}$, $м^3$	$C_{\text{гц}}$, руб.	$C_{\text{уд.}}$, $руб/м^3/ч$
1.	ПВО-ГЦТО-50 [26]	2–3,5	12,7	$1/2$	2	0,0051	16852	4815
2.	ПВО-ГЦ-1025 [27]	3,5–7,5	25,4	1	9	0,024	27708	3694
3.	ПВО-МПГЦ-10 [28]	8–12	38,1	$1\,1/2$	23,7	0,049	87272	7273
4.	ПВО-МПГЦ-18 [29]	14–18	50,8	2	44	0,15	162220	9012

В настоящее время разработано несколько конструкций инерционных УО. Заслуживают внимания для использования в системах водоподготовки механической очистки воды два типа устройств:

– разборные инерционные УО представляют собой параллелепипед со стороной α, состоящей из двух половин (нижней и верхней), в которых режущим инструментом изготовлена спираль Архимеда (рис. 1) [2];

– неразборные инерционные УО, представляют собой основной канал, навитый из трубы по траектории спирали Архимеда (рис. 2) [1].

Расчёт ЭиМГП разборных инерционных УО:

Для определения массы и объёма разборных инерционных УО воспользуемся программой расчёта геометрических размеров УО [30]. Определим объём заготовки устройства:

$$V_{\text{заг}} = H \cdot \left(D_{\text{уо}}\right)^2,$$

где H – высота УО; $D_{\text{уо}}$ – сторона основания разборного инерционного УО.

Выбор материала заготовки (трубы) для изготовления разборных (неразборных) инерционных УО остановим на алюминии. Расчёт массы инерционных УО проведём с учётом выбора материала заготовки (трубы).

Массу инерционного УО вычислим из выражения:

$$m_{\text{спир}} = V_{\text{спир}} \cdot \rho_{Al},$$

где ρ_{Al} – плотность алюминия, ρ_{Al} =2700 $^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$.

Объём инерционного УО определим, зная объём заготовки:

$$V_{\text{спир}} = V_{\text{заг}} - V_{\text{ок1}} - V_{\text{ок2}} - V_{\text{щ}},$$

где $V_{\text{ок1}}$ – объём основного канала УО; $V_{\text{ок2}}$ – объём отводного канала УО; $V_{\text{щ}}$ – объём щели.

$$V_{\text{ок1}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ок1}}^2}{4} \cdot L,$$

где $d_{\text{ок1}}$ – диаметр основного канала; L – длина основного канала УО.

$$V_{\text{ок2}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ок2}}^2}{4} \cdot l,$$

где $d_{\text{ок2}}$ – диаметр отводного канала; l – длина отводного канала УО. Длина отводного канала и длина цели равны.

$$V_{\text{щ}} = S_{\text{щ}} \cdot l,$$

где $S_{\text{щ}}$ – площадь щели; l – длина щели УО.

Для проведения вычислений МГП используем данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, полученные значения ЭиМГП запишем в таблицу 9.

Таблица 9 – Значение ЭиМГП разборных инерционных УО [2]

№ п/п	Наименование	Q, $^{\text{м}^3}/_{\text{ч}}$	$d_{\text{вх}}$, мм	$d_{\text{вх}}$, дм	$m_{\text{сп1}}$, кг	$V_{\text{сп1}}$, м^3	$C_{\text{сп1}}$, руб.	$C_{\text{уд.сп.1}}$, $^{\text{руб}}/_{\text{м}^3/\text{ч}}$
1.	ИУО-20 [1]	1,1	12,7	$^1/_2$	2,66	0,00098	11134	10122
2.	ИУО-30 [1]	3,24	25,4	1	6,42	0,0024	13548	4182
3.	ИУО-40 [1]	6,48	38,1	$1\,^1/_2$	18,54	0,0069	30395	4691
4.	ИУО-50 [1]	9,72	50,8	2	33,84	0,0125	40790	4196

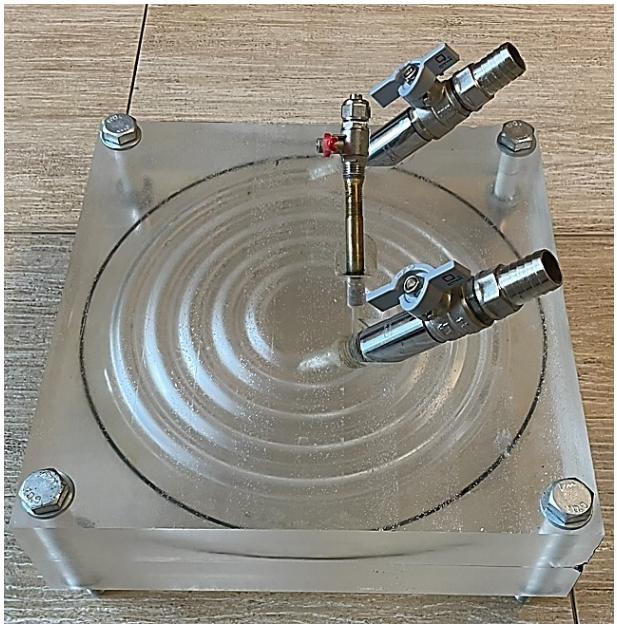

Рисунок 1 – Экспериментальное разборное инерционное УО [2]

Расчёт ЭиМГП неразборных инерционных УО [1]:
Определим объём трубы для заготовки устройства:

$$V_{\text{заг}} = S_{\text{т}} \cdot l,$$

где $S_{\text{т}}$– сечение трубы; l – длина трубы.

Массу УО вычислим из выражения:

$$m_{\text{спир}} = V_{\text{спир}} \cdot \rho_{Al},$$

где ρ_{Al} – плотность алюминия, ρ_{Al} =2700 $^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$.

Объём УО определим зная объём заготовки:

$$V_{\text{спир}} = V_{\text{заг}} - V_{\text{вн}},$$

где $V_{\text{вн}}$ – объём внутренней части трубы.

$$V_{\text{вн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot l,$$

где $d_{\text{вн}}$ – диаметр внутренней части трубы.

Для проведения вычислений МГП используем данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, полученные значения ЭиМГП запишем в таблицу 10.

Таблица 10 – Значение ЭиМГП неразборных инерционных УО [1]

№ п/п	Наименование	Q, $^{\text{м}^3}/_{\text{ч}}$	$d_{\text{вх}}$, мм	$d_{\text{вх}}$, дм	$m_{\text{сп2}}$, кг	$V_{\text{сп2}}$, м^3	$C_{\text{сп2}}$, руб.	$C_{\text{уд.сп.2}}$, $^{\text{руб}}/_{\text{м}^3/\text{ч}}$
1.	ИУО-20 [2]	1,1	12,7	$^1/_2$	0,162	0,00006	3034	2758
2.	ИУО-30 [2]	3,24	25,4	1	0,54	0,0002	3745	1156
3.	ИУО-40 [2]	6,48	38,1	$1\,^1/_2$	1,35	0,0005	6000	925
4.	ИУО-50 [2]	9,72	50,8	2	3,51	0,0013	9950	1023



Рисунок 2 – Экспериментальное неразборное инерционное УО [1]

Для проведения сравнительного анализа ЭиМГП устройств грубой механической очистки воды обобщим результаты вычислений таблиц 7, 8, 9 и 10 и сгруппируем по однородным показателям – результаты запишем в таблицы 11 и 12.

Таблица 11 – МГП устройств механической очистки воды

№ п/п	$d_{вх}$, дм	$m_{ф}$, кг	$m_{гц}$, кг	$m_{сп1}$, кг	$m_{сп2}$, кг	$V_{ф}$, $м^3$	$V_{гц}$, $м^3$	$V_{сп1}$, $м^3$	$V_{сп2}$, $м^3$
1.	$1/2$	0,8	3,6	2,66	0,16	0,0008	0,0004	0,00098	0,00006
2.	1	2,1	12	6,42	0,54	0,0011	0,0016	0,0024	0,0002
3.	$1\,1/2$	7,25	18	18,54	1,35	0,008	0,036	0,0069	0,0005
4.	2	9	100	33,84	3,51	0,009	0,063	0,0125	0,0013

Таблица 12 – ЭП устройств механической очистки воды

№ п/п	$d_{вх}$, дм	$C_{ф}$, руб.	$C_{гц}$, руб.	$C_{сп1}$, руб.	$C_{сп2}$, руб.	$C_{уд.ф.}$, $руб/м^3/ч$	$C_{уд.гц.}$, $руб/м^3/ч$	$C_{уд.сп.1}$, $руб/м^3/ч$	$C_{уд.сп.2}$, $руб/м^3/ч$
1.	$1/2$	4542	17432	11134	3034	5047	4815	10122	2758
2.	1	14490	25987	13548	3745	3220	3694	4182	1156
3.	$1\,1/2$	80000	33358	30395	6000	8889	7273	4691	925
4.	2	145000	110232	40790	9950	13181	9012	4196	1023

Таким образом, анализ массогабаритных и экономических показателей (табл. 11, 12) выявил:

1. Рассматриваемые в исследовании устройства механической очистки имеют сопоставимую массу без резких перепадов и выбросов значений (табл. 11, 12). Между собой близки по своим значениям массы фильтров и неразборных инерционных УО, а также массы гидроциклонов и разборных инерционных УО.

2. Минимальным значением объёма обладают фильтры и неразборные инерционные УО. Самым большим объёмом обладают гидроциклоны.

3. Сравнительный анализ показал преимущество экспериментального неразборного инерционного УО по сравнению с другими устройствами механической очистки воды (фильтрами, гидроциклонами и разборными инерционными УО) по критериям массы, объёма, стоимости и удельного экономического показателя.

Многоступенчатые устройства очистки:

– *многоступенчатые системы очистки воды (система фильтров)*: вода проходит последовательно несколько ступеней фильтрации, каждая ступень очистки направлена на удаление определённого типа загрязнения. Количество ступеней фильтрации определяется кругом решаемых задач системы очистки, обычно ступеней от 3 до 5. Системы очистки воды могут оснащаться системой автоматики. Экономические и массогабаритные показатели многоступенчатых систем очистки воды представлены в таблице 13.

Таблица 13 – ЭиМГП многоступенчатых систем очистки воды (система фильтров)

№ п/п	Наименование	Q, $м^3/ч$	Число ступеней (ч.с.)	$d_{вх}$, *дм*	$m_ф$, кг	$V_ф$, $м^3$	$C_ф$, руб.	$C_{уд.}$, $руб/м^3/ч$
1.	Барьер Оникс ОСМО 100 [31]	0,06	5	$1/2$	5,7	0,018	16999	283317
2.	Наша Сталь Slim-line 10 [32]	0,65	3	1	7,5	0,028	42113	64789
3.	Наша Сталь Big blue 10 [33]	0,95	5	$1\,1/2$	12,5	0,067	72811	76643
4.	Max-filter 1465 [34]	3	5 (а)	2	40	0,66	105263	35083

– *коллекторные гидроциклоны*: для увеличения производительности очистки воды без потерь тонкости очистки, два и более небольших гидроциклона соединяют параллельно (в батарею) и объединяют общим коллектором. Крупный гидроциклон имеет большую производительность, но задерживает только крупные частицы, а маленькие гидроциклоны обладают тонкой очисткой, но небольшой производительностью. Коллекторные гидроциклоны решают обе эти проблемы. Экономические и массогабаритные показатели коллекторных гидроциклонов для очистки воды представлены в таблице 14, п. 1 и 2.

– *мультигидроциклоны*: решают такую же задачу, как и коллекторные гидроциклоны, состоят из множества мелких гидроциклонов, объединённых параллельно в одном корпусе. Экономические и массогабаритные показатели мультигидроциклонов для очистки воды представлены в таблице 14, п. 3 и 4.

Таблица 14 – ЭиМГП коллекторных и мультигидроциклонов для очистки воды

№ п/п	Наименование	Q, $м^3/ч$	Число ступеней (ч.с.)	$d_{вх}$, *дм*	$m_{гц}$, кг	$V_{гц}$, $м^3$	$C_{гц}$, руб.	$C_{уд.}$, $руб/м^3/ч$
1.	Коллекторный гидроциклон ПВО-ГКЦ-100-02 [35]	30–40	2	$3\,1/2$	89,2	0,84	191117	4778
2.	Коллекторный гидроциклон ПВО-ГКЦ-100-03 [36]	45–60	3	4	121,2	1,16	270686	4511
3.	Мультигидроциклон ПВО-МПГЦ-36[37]	30–40	18	$3\,1/2$	149	0,3	310162	7754
4.	Мультигидроциклон ПВО-МПГЦ-52 [38]	42–62	18	4	192	0,43	417870	6740

– *многоступенчатые разборные и неразборные инерционные УО* [39, 40]: одиночные устройства могут объединяться в механические (конструктивные) соединения или агрегатироваться для решения различных задач механической очистки воды (очистка воды от частиц разной дисперсной фазы, очистка воды от нефтепродуктов и т.д.). Количество ступеней очистки, рассматриваемые авторами при разработке многоступенчатых систем очистки в случае агрегатирования или соединения устройств – три, но количество ступеней может быть увеличено. Инерционные УО могут соединяться последовательно как фильтры, для повышения качества и тонкости очистки. Или соединяться параллельно как гидроциклоны для увеличения производительности очистки воды, а также при очистке многофазных дисперсных сред на основе воды могут использоваться комбинированные схемы соединения инерционных УО. Схемы соединения многоступенчатых инерционных УО представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Схемы соединения инерционных УО [39, 40]

№ п/п	Схемы соединения	Достоинства	Недостатки
1.	Последовательная	увеличивается тонкость и качество очистки	низкая производительность
2.	Параллельная	увеличивается производительность	низкая тонкость очистки
3.	Комбинированная	увеличивается производительность и качество очистки	увеличиваются ЭиМГП, за счёт увеличения количества ступеней очистки в 2 раза

Массогабаритные показатели инерционных УО при механическом соединении рассчитываются выражениями [41, 42, 43]:

– *масса инерционного УО*:

$$M_{\text{соед}} = k_m \cdot \sum M_i,$$

где $M_{\text{соед}}$ – масса инерционных УО, соединённых в конструкционную схему; k_m – коэффициент увеличения массы нового устройства при механическом соединении, учитывающий прирост массы при стыковке дополнительных одиночных УО (переходные соединительные трубопроводы, дополнительный крепёж, увеличение диаметра входных патрубков и т.д.); M_i – масса одиночного УО.

Значение коэффициента увеличения массы (k_m) находится в диапазоне от 1,1 до 1,45 [41, 42, 43].

объём инерционного УО:

$$V_{\text{соед}} = k_V \cdot \sum V_i,$$

где $V_{\text{соед}}$ – объём инерционного УО, соединённого в конструкционную схему; k_V – коэффициент увеличения объёма нового устройства при механическом соединении, учитывающий прирост объёма при стыковке дополнительных одиночных УО (наличие технологических зазоров для монтажа и обслуживания, не идеальная компоновка УО и т.д.); V_i – объём одиночного УО.

Значение коэффициента увеличения объёма (k_V) находится в диапазоне от 1,2 до 1,55 [41, 42, 43].

$$V_i = H_i \cdot D_{\text{уо}}^2,$$

где H_i – сумма всех высот одиночных инерционных УО; $D_{\text{уо}}$ – сторона основания инерционного УО.

$$H_i = \sum h_i,$$

где h_i – высота одиночных УО при механическом соединении.

Все результаты вычислений занесём в таблицу 16.

Таблица 16 – ЭиМГП многоступенчатых инерционных УО, соединённые механически

№ п/п	Наименование	Q, $м^3/ч$	Число ступеней (ч.с.)	$d_{\text{вх}}$, дм	$m_{\text{сп}}$, кг	$V_{\text{сп}}$, $м^3$	$C_{\text{сп}}$, руб.	$C_{\text{уд.}}$, $руб/м^3/ч$
1.	ИУО-20 [1, 2]	3	3	1	17,9	0,011	17700	5900
2.	ИУО-30 [1, 2]	10	3	2	109,6	0,073	69700	6970
3.	ИУО-40 [1, 2]	20	3	$2\,1/2$	193,1	0,13	111000	5550
4.	ИУО-50 [1, 2]	30	3	3	288,1	0,21	161100	5370
5.	ИУО-20 [1, 2]	1	6	2	176	0,12	127625	127625

Материал изготовления многоступенчатых агрегатированных инерционных УО – алюминий, плотность 2700 $^{м^3}/_{кг}$.

Таблица 17 – ЭиМГП многоступенчатых агрегатированных инерционных УО

№ п/п	Наименование	Q, $^{м^3}/_{ч}$	Число ступеней (ч.с.)	$d_{вх}$, *дм*	$m_{сп}$, кг	$V_{сп}$, $м^3$	$C_{сп}$, руб.	$C_{уд.}$, $руб/^{м^3}/_{ч}$
1.	ИУО-20 [1, 2]	3	3	1	28	0,011	27475	9158
2.	ИУО-30 [1, 2]	10	3	2	173,2	0,064	99450	9945
3.	ИУО-40 [1, 2]	20	3	$2\,^1/_2$	291	0,11	156850	7843
4.	ИУО-50 [1, 2]	30	3	3	452	0,17	257320	8577
5	ИУО-20 [1, 2]	1	6	2	242	0,098	166700	166700

Таблица 18 – ЭиМГП многоступенчатых неразборных инерционных УО

№ п/п	Наименование	Q, $^{м^3}/_{ч}$	Число ступеней (ч.с.)	$d_{вх}$, *дм*	$m_{сп}$, кг	$V_{сп}$, $м^3$	$C_{сп}$, руб.	$C_{уд.}$, $руб/^{м^3}/_{ч}$
1.	ИУО-20 [1, 2]	3	3	1	2,025	0,00081	2758	919,3
2.	ИУО-30 [1, 2]	10	3	2	13,2	0,0053	9950	995
3.	ИУО-40 [1, 2]	20	3	$2\,^1/_2$	30,4	0,065	10200	510
4.	ИУО-50 [1, 2]	30	3	3	35,4	0,093	10700	360
5	ИУО-20 [1, 2]	1	6	2	26,3	0,011	89550	3405

Обсуждение

Следовательно, проведённый анализ таблиц 13, 14, 15, 16, 17 и 18 показал, что:

1. Многоступенчатые системы очистки воды на фильтрах обладают очень большим удельным экономическим показателем, который отражает стоимость единицы пропускной способности устройств очистки (табл. 13). Но имеют, как правило, небольшую массу и производительность до 1 $^{м^3}/_{ч}$. Это объясняется тем, что в многоступенчатых системах очистки на фильтрах используется не один универсальный фильтр, а задача очистки решается комплексно, вода проходит через несколько фильтров, где каждый фильтр удаляет свой тип загрязнения. Увеличение фильтрующих элементов (ступеней) очистки, объединение их в систему приводит к увеличению стоимости и, как следствие, к снижению экономических показателей.

2. Коллекторные и мультигидроциклоны обладают большой массой и стоимостью, используются в системах очистки воды с производительностью более 30 $^{м^3}/_{ч}$. Несмотря на это, гидроциклоны для систем многоступенчатой очистки воды обладают на порядок меньшим удельным экономическим показателем (табл. 14) по сравнению с многоступенчатыми системами очистки на фильтрах.

3. Разборные и неразборные инерционные УО могут использоваться в многоступенчатых системах очистки, количество ступеней 3 и более. В зависимости от решаемых задач инерционных УО могут соединяться в различные схемы соединений (табл. 10). Разборные инерционные УО (рис. 1) в многоступенчатых системах очистки могут агрегатироваться или соединяться механически, а неразборные инерционные УО (рис. 2) из-за своих конструктивных особенностей могут соединяться только механически с использованием различных схем соединения одиночных устройств очистки.

4. Анализ таблиц 16, 17 и 18 показал, что агрегатированные инерционные УО имеют низкие ЭиМГП, по сравнению с инерционными УО, соединёнными механически в конструкционные схемы.

Заключение

Таким образом, проведённый сравнительный анализ инерционных УО относительно традиционных устройств механической очистки воды (фильтров и гидроциклонов) при разной производительности одиночных устройств, а также в составе многоступенчатых систем очистки показал, что, несмотря на отмеченные недостатки, разборные и неразборные инерционные УО по своим техническим характеристикам, экономическим и массогабаритным показателям соответствуют существующим центробежным устройствам механической очистки воды. А по качественному критерию оценки, способ обслуживания, инерционные УО – не нуждаются в обслуживании, коэффициент гидравлического сопротивления превосходит гидроциклоны на порядок. Следовательно, инерционные УО могут занимать промежуточную нишу между фильтрами и гидроциклонами, эффективно решая задачи очистки при определённых условиях.

Литература

1. Устройство для очистки жидкости / В.В. Терехов [и др.]. // Патент на полезную модель № 242865 от 15.04.2026 года.
2. Устройство для очистки горюче-смазочных материалов с прямолинейным одним входным и двумя выходными каналами / В.В. Терехов [и др.]. // Патент на полезную модель № 227821 от 07.08.2024 года.
3. ГОСТ Р 58810-2020 «Оборудование для подготовки воды внутри зданий. Механические фильтры».
4. ГОСТ Р 31952-2012 «Устройства водоочистные. Общие требования к эффективности и методы её определения».
5. URL : https://inner.su/articles/zasoryaetsya-filtr-tonkoy-ochistki-kak-vybrat-pravilnyy-kartridzh-dlya-vody (дата обращения 16.06.2026).
6. URL : https://aurusfilter.ru/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=22349442&utm_content=13080412055&utm_term=Фибос&roistat=direct2_search_13080412055_Фибос&roistat_referrer=none&roistat_pos=premium_1&etext=2202.JQelo8sRA8KqhOscS1WMo6xPuOUHzJx5svgQY6DSwuzwBjFurFySRyA8l6Wi40qEZnpxeG53dmVhenNyaHp2ZQ.9e261b15c47f45e534f40a292b4411036040f767&yclid=13235772203866783743 (дата обращения 16.06.2026).
7. URL : https://tech-intel.ru/?utm_term=ТехноИнтеллект&etext=2202.fycxCjiME_xNOz2fn9-9cjuKLpJu9fHThqpZabepzYW5kLCb15_UR589tDEsxY_8wYrXIB8J8eRJkOLy5okxGHp5Zm9ianZieG9jeXdxb3M.571796a781f2240d54f258381fe7a3111c4419fe&yclid=11900769285000658943 (дата обращения 16.06.2026).
8. URL : https://sfilter.ru/promyshlennye_filtry/?utm_source=yandex_sf&utm_medium= cpc&utm_campaign=83081403&utm_term=ooo%20нпц%20промводочистка%20нижний%20новгород.%7B13469756564%7D&utm_content=13469756564.35.Краснодар&etext=2202.J9VkWyTlQqsLjAq3FMUnE7rVn3LsbBzQm1PW2s-UmeNdutl6KAj5hClHF49e (дата обращения 16.06.2026).
9. URL : AarQhB4GZHrYYJHr9rbmC053APQjmX15rCJSOwaGUMR8s1HussOiHWWpbaK8SbJeNvdPcGVsd2F3bGhjbXF2enVjbQ.277f20f813d7080de4c257eb969705805b4a0c02&yclid=12587234581416771583 (дата обращения 16.06.2026).
10. Проектирование устройств механической очистки сточных вод : учебно-метод. пособие / О.П. Дружакина и [др.]. – Ижевск : Удмуртский государственный университет, 2024. – 110 с.
11. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий (актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*).
12. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*).
13. DuPont Water Solutions. FilmTec Reverse Osmosis Membranes Technical Manual (Form № 45-D01504-en).
14. DuPont. Membrane System Design Guidelines for 8-inch FilmTec Elements (Form № 45-D01695-en).
15. Clack Corporation. WS1 & WS1.25 Programming Manual (V3115).
16. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод. – 2-е изд. / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Вища школа, 1986.
17. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.Г. Первов. – М. : АСВ, 2014.
18. Stantec's Water Treatment: Principles and Design. – Updated 3rd ed. / J.C. Crittenden [et al.]. – Wiley, 2022.
19. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд. – М. : Машиностроение, 1992.

20. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике. – 3-е изд. / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М. : МЭИ, 2022.
21. Иванов А.Н. Теплообменное оборудование промпредприятий : учеб. пособие / А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – 184 с.
22. Дмитриев Е.А. Теплообменные аппараты химических производств : учеб. пособие / Е.А. Дмитриев, Е.П. Моргунова, Р.Б. Комляшёв. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. – 88 с.
23. URL : https://krasnodar.lemanapro.ru/product/filtr-mehanicheskoy-ochistki-vaxt-1-2-dlya-hvs-100-mkm-s-manometrom-82890089 (дата обращения 16.06.2026).
24. URL : https://наша-сталь.рф/filtr-ugilniy (дата обращения 16.06.2026).
25. URL : https://www.bwt.ru/product/id-264-10305-016-filtr-mekhanicheskoy-ochistki-vody-bwt-infinity-m-dr-s-reduktorom-davleniya-model_125596353 (дата обращения 16.06.2026).
26. URL : https://www.bwt.ru/product/id-264-infinity-ap-model_6125 (дата обращения 16.06.2026).
27. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gcto-50-p (дата обращения 16.06.2026).
28. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gc-1025 (дата обращения 16.06.2026).
29. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-mpgc-10 (дата обращения 16.06.2026).
30. URL : https://vodkit.ru/catalog/filtry-dlya-ochistki-vody/gidrociklony/multigidrociklon-pvo-mpgc-18 (дата обращения 16.06.2026).
31. Программа расчёта геометрических размеров и технологических параметров устройств очистки жидкости на основе спирали Архимеда с одним входным и двумя выходными каналами / В.В. Терехов [и др.] // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025663234 от 27.05.2025 года.
32. URL : https://www.ozon.ru/product/filtr-dlya-vody-s-obratnym-osmosom-protochnyy-pod-moyku-barer-oniks-osmo-100-ochishchaet-vodu-do-3764345308/?at=w0tgjY8kJsgz9AL5FM Qx7mWIZ1WDwJHDmoDqlfzwXmMA&sh=zxeK8duxgA (дата обращения 16.06.2026).
33. URL : https://www.ozon.ru/product/trehstupenchatyy-filtr-ot-zheleza-zhestkosti-i-zapahov-nasha-stal-slim-line-10-3081911700/?at=57twJqj35cOEXJ7xTKxV3ZiJw2wpRCPZ xQnmh9xxvn8&sh=zxeK8cfHyA (дата обращения 16.06.2026).
34. URL : https://www.ozon.ru/product/filtr-dlya-vody-magistralnyy-mnogostupenchataya-ochistka-vody-ot-primesey-metallov-soley-3742457890/?at=VvtzJOwmNf7KYGGoUj5y9O 7hQn7RJxtvXRvv PsXWV7o5&sh=zxeK8ahjGg (дата обращения 16.06.2026).
35. URL : https://www.ozon.ru/product/avtomaticheskaya-sistema-ochistki-vody-dlya-doma-iz-skvazhiny-s-zasypkami-polnyy-komplekt-max-4378203350/?at=jYtZrp5DKt11MD3lC6EwgJEto7YR0N Hj3Bxzvfz8VELm&sh=zxeK8Xu1vA (дата обращения 16.06.2026).
36. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-kgc-100-02 (дата обращения 16.06.2026).
37. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-mpgc-36 (дата обращения 16.06.2026).
38. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-kgc-100-03 (дата обращения 16.06.2026).
39. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gc-1090 (дата обращения 16.06.2026).
40. Терехов В.В. Применение агрегатирования в инерционных устройствах очистки жидкости на основе спирали Архимеда // Сборник научных статей XIV Международной научно-практической конференции молодых учёных, посвященной 63-й годовщине полёта Ю.А. Гагарина в космос. – Краснодар : Краснодарское ВВАУЛ, 2024. – С. 122–130.
41. Принципиальные гидравлические схемы агрегатируемых инерционных устройств очистки жидкости на основе спирали Архимеда / В.В. Терехов [и др.] // Сборник научных статей XIV Международной научно-практической конференции молодых учёных, посвященной 63-й годовщине полёта Ю.А. Гагарина в космос. – Краснодар : Краснодарское ВВАУЛ, 2024. – С. 174–180.
42. Семенов А.Н. Технологичность конструкции изделия машиностроения. – Рыбинск : РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2016. – 217 с.
43. Рудик Ф.Я. Основы конструирования оборудования пищевых производств» // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2018. – 53 с.
44. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие. –Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 350 с.

References

1. Device for liquid purification / V.V. Terekhov [et al.]. // Utility Model Patent № 242865, dated April 15, 2026.
2. Device for purifying fuels and lubricants, featuring a linear design with one inlet channel and two outlet channels / V.V. Terekhov [et al.]. // Utility Model Patent № 227821, dated August 7, 2024.
3. GOST R 58810-2020 «Equipment for water treatment within buildings. Mechanical filters».
4. GOST R 31952-2012 «Water treatment devices. General requirements for efficiency and methods for its determination».
5. URL : https://inner.su/articles/zasoryaetsya-filtr-tonkoy-ochistki-kak-vybrat-pravilnyy-kartridzh-dlya-vody (date of application 16.06.2026).
6. URL : https://aurusfilter.ru/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign= 22349442&utm_content=13080412055&utm_term=Фибос&roistat=direct2_search_13080412055_Фибос&roistat_referrer=none&roistat_pos=premium_1&etext=2202.JQelo8sRA8KqhOscS1WMo6xPuOUHzJx5svgQY6DSwuzwBjFurFySRyA8l6Wi40qEZnpxeG53dmVhenNyaHp2ZQ.9e261b15c47f45e534f40a292b4411036040f767&yclid=13235772203866783743 (date of application 16.06.2026).
7. URL : https://tech-intel.ru/?utm_term=ТехноИнтеллект&etext=2202.fycxCjiME_xNOz2fn9-9cjuKLpJu9fHThqpZabepzYW5kLCb15_UR589tDEsxY_8wYrXIB8J8eRJkOLy5okxGHp5Zm9ianZieG9jeXdxb3M.571796a781f2240d54f258381fe7a3111c4419fe&yclid=11900769285000658943 (date of application 16.06.2026).
8. URL : https://sfilter.ru/promyshlennye_filtry/?utm_source=yandex_sf&utm_medium=cpc&utm_campaign=83081403&utm_term=ооо%20нпц%20промводочистка%20нижний%20новгород.%7B13469756564%7D&utm_content=13469756564.35.Краснодар&etext=2202.J9VkWyTlQqsLjAq3FMUnE7rVn3LsbBzQm1PW2s-UmeNdutI6KAj5hClHF49e (date of application 16.06.2026).
9. URL : AarQhB4GZHrYYJHr9rbmC053APQjmX15rCJSOwaGUMR8s1HussOiHWWpbaK8SbJeNvdPcGVsd2F3bGhjbXF2enVjbQ.277f20f813d7080de4c257eb969705805b4a0c02&yclid=12587234581416771583 (date of application 16.06.2026).
10. Design of Mechanical Wastewater Treatment Devices: A Teaching and Methodological Manual / O.P. Druzhakina [et al.]. – Izhevsk : Udmurt State University, 2024. – 110 p.
11. SP 30.13330.2020. Internal Water Supply and Sewerage Systems for Buildings (updated version of SNiP 2.04.01-85*).
12. SP 31.13330.2021. Water Supply: External Networks and Facilities (updated version of SNiP 2.04.02-84*).
13. DuPont Water Solutions. FilmTec Reverse Osmosis Membranes Technical Manual (Form № 45-D01504-en).
14. DuPont. Membrane System Design Guidelines for 8-inch FilmTec Elements (Form № 45-D01695-en).
15. Clack Corporation. WS1 & WS1.25 Programming Manual (V3115).
16. Kulsky L.A. Technology of Natural Water Purification. – 2nd ed. / L.A. Kulsky, P.P. Strokach. – Vyshcha Shkola, 1986.
17. Frog B.N. Water Treatment / B.N. Frog, A.G. Pervov. – M. : ASV, 2014.
18. Stantec's Water Treatment: Principles and Design. – Updated 3rd ed. / J.C. Crittenden [et al.]. – Wiley, 2022.
19. Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistance. – 3rd ed. – M. : Mechanical Engineering, 1992.
20. Kopylov A.S. Water treatment in the energy sector. – 3rd ed. / A.S. Kopylov, V.M. Lavygin, V.F. Points. – M. : MPEI, 2022.
21. Ivanov A.N. Heat exchange equipment for industrial enterprises : textbook / A.N. Ivanov, V.N. Belousov, S.N. Currant; VShTE SPbGUPTD. – SPb., 2016. – 184 p.
22. Dmitriev E.A. Heat Exchangers in Chemical Production : textbook / E.A. Dmitriev, E.P. Morgunova, R.B. Komlyashev. – M. : D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 2013. – 88 p.
23. URL : https://krasnodar.lemanapro.ru/product/filtr-mehanicheskoy-ochistki-vaxt-1-2-dlya-hvs-100-mkm-s-manometrom-82890089 (date of application 16.06.2026).
24. URL : https://наша-сталь.рф/filtr-ugilniy (date of application 16.06.2026).
25. URL : https://www.bwt.ru/product/id-264-10305-016-filtr-mekhanicheskoy-ochistki-vody-bwt-infinity-m-dr-s-reduktorom-davleniya-model_125596353 (date of application 16.06.2026).
26. URL : https://www.bwt.ru/product/id-264-infinity-ap-model_6125 (date of application 16.06.2026).
27. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gcto-50-p (date of application 16.06.2026).
28. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gc-1025 (date of application 16.06.2026).
29. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-mpgc-10 (date of application 16.06.2026).

30. URL : https://vodkit.ru/catalog/filtry-dlya-ochistki-vody/gidrociklony/multigidrociklon-pvo-mpgc-18 (date of application 16.06.2026).
31. Software for calculating the geometric dimensions and technological parameters of liquid purification devices based on an Archimedean spiral, featuring one inlet and two outlet channels / V.V. Terekhov [et al.] // Certificate of Computer Program Registration № 2025663234, dated May 27, 2025.
32. URL : https://www.ozon.ru/product/filtr-dlya-vody-s-obratnym-osmosom-protochnyy-pod-moyku-barer-oniks-osmo-100-ochishchaet-vodu-do-3764345308/?at=w0tgjY8kJsgz9AL5FMQx7mWIZ1WDwJHDmoDqlfzwXmMA&sh=zxeK8duxgA (date of application 16.06.2026).
33. URL : https://www.ozon.ru/product/trehstupenchatyy-filtr-ot-zheleza-zhestkosti-i-zapahov-nasha-stal-slim-line-10-3081911700/?at=57twJqj35cOEXJ7xTKxV3ZiJw2wpRCPZxQnmh9xxvn8&sh=zxeK8cfHyA (date of application 16.06.2026).
34. URL : https://www.ozon.ru/product/filtr-dlya-vody-magistralnyy-mnogostupenchataya-ochistka-vody-ot-primesey-metallov-soley-3742457890/?at=VvtzJOwmNf7KYGGoUj5y9O7hQn7RJxtvXRvv PsXWV7o5&sh=zxeK8ahjGg (date of application 16.06.2026).
35. URL : https://www.ozon.ru/product/avtomaticheskaya-sistema-ochistki-vody-dlya-doma-iz-skvazhiny-s-zasypkami-polnyy-komplekt-max-4378203350/?at=jYtZrp5DKt11MD3lC6EwgJEto7YR0NHj3BxzvfzVELm&sh=zxeK8Xu1vA (date of application 16.06.2026).
36. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-kgc-100-02 (date of application 16.06.2026).
37. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-mpgc-36 (date of application 16.06.2026).
38. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-kgc-100-03 (date of application 16.06.2026).
39. URL : https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/gidrociklony/pvo-gc-1090 (date of application 16.06.2026).
40. Terekhov V.V. Application of modular assembly in inertial fluid purification devices based on an Archimedean spiral // Collection of Scientific Articles of the XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the 63rd anniversary of Yu.A. Gagarin's space flight. – Krasnodar : Krasnodar Higher Military Aviation School for Pilots (VVAUL), 2024. – P. 122–130.
41. Schematic hydraulic diagrams of modular inertial fluid purification devices based on an Archimedean spiral / V.V. Terekhov [et al.] // Collection of Scientific Articles of the XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the 63rd anniversary of Yu.A. Gagarin's space flight. – Krasnodar : Krasnodar Higher Military Aviation School for Pilots (VVAUL), 2024. – P. 174–180.
42. Semenov A.N. Manufacturability of Engineering Product Designs. – Rybinsk : P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University (RGATU), 2016. – 217 p.
43. Rudik F.Ya. Fundamentals of Designing Equipment for Food Production Facilities. – Saratov : Saratov State Agrarian University, 2018. – 53 p.
44. Skvortsov V.F. Fundamentals of Mechanical Engineering Technology : textbook. – Tomsk : Tomsk Polytechnic University Press, 2013. – 350 p.

УДК 004.056.5

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

♦♦♦♦♦

FUNDAMENTAL FEATURES OF INTELLECTUAL PROPERTY PROTECTION

Торосян Эрик Сергеевич
начальник отдела
интеллектуальной собственности

Касьянов Дмитрий Геннадьевич
заместитель начальника
отдела интеллектуальной собственности,
Кубанский государственный университет

Иночкина Екатерина Викторовна
кандидат технических наук,
Военная орденов Жукова и Октябрьской Революции
Краснознаменная академия защиты информации
имени генерала армии С.М. Штеменко
(ВАЗИ им. С.М. Штеменко)

Кулиева Роза Гамедовна
кандидат технических наук,
Военная орденов Жукова и Октябрьской Революции
Краснознаменная академия защиты информации
имени генерала армии С.М. Штеменко
(ВАЗИ им. С.М. Штеменко)

Аннотация. Защита результатов интеллектуальной деятельности относится к особо важным направлениям государственной политики и защищена законодательными актами. В части 4 Гражданского кодекса РФ (ГК РФ) четко обозначен правовой режим и защита интеллектуальных разработок и приравненных объектов. Сформулированная цель исследований заключалась в сравнении возможностей авторского и патентного права и анализе предусмотренных законом способам их охраны и защиты. В статье раскрываются основные методы и механизмы правовой оценки и защиты интеллектуальных ресурсов с позиций института авторского права, освещаются особенности патентования в виде изобретений, полезных моделей и промобразцов (ст. 1349 ГК РФ). Обсуждены вопросы защиты от несанкционированного использования зарегистрированных программ ЭВМ и баз данных, как объектов авторского права (ст. 1259 ГК РФ) и приравненных к литературным произведениям.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, авторское право, изобретательство, статьи Гражданского Кодекса, программы ЭВМ, полезные модели, промобразцы.

Torosyan Erik Sergeevich
Head of the Intellectual
Property Department

Kasyanov Dmitry Gennadyevich
Deputy Head
Intellectual Property Department,
Kuban State University

Inochkina Ekaterina Viktorovna
Candidate of Technical Sciences,
Military of the Orders of Zhukov
and the October Revolution,
Red Banner Academy
of Information Protection named After
Army General S.M. Shtemenko

Kulieva Roza Gamedovna
Candidate of Technical Sciences,
Military of the Orders of Zhukov
and the October Revolution,
Red Banner Academy
of Information Protection named After
Army General S.M. Shtemenko

Annotation. The protection of the results of intellectual activity is one of the most important areas of state policy and is protected by legislative acts. Part 4 of the Civil Code of the Russian Federation (CC RF) clearly defines the legal regime and protection of intellectual developments and equivalent objects. The stated purpose of the research was to compare the possibilities of copyright and patent law and analyze the ways provided by law for their protection and protection. The article reveals the main methods and mechanisms of legal assessment and protection of intellectual resources from the standpoint of the Institute of copyright, highlights the features of patenting in the form of inventions, utility models and samples (Art. 1349 of the Civil Code of the Russian Federation). The issues of protection against unauthorized use of registered computer programs and databases as objects of copyright (Art. 1259 of the Civil Code of the Russian Federation) and equivalent to literary works were discussed.

Keywords: intellectual property, copyright, invention, articles of the Civil Code, computer programs, utility models, promotional items.

Современная правовая система Российской Федерации придаёт исключительную значимость институту интеллектуальной собственности как ключевому элементу инновационного развития экономики и обеспечения конкурентных преимуществ хозяйствующих субъектов. Правовой фундамент регулирования соответствующих отношений заложен в четвёртой части Гражданского кодекса Российской

Федерации, которая с момента вступления в силу 1 января 2008 года выполняет системообразующую функцию в сфере охраны результатов интеллектуальной деятельности и средств индивидуализации [1]. В этом контексте особую актуальность приобретает разграничение правовых режимов, применяемых к различным категориям объектов интеллектуальной собственности, в частности, сопоставление механизмов авторского и патентного права, отличающихся как по основаниям возникновения прав, так и по инструментарию их охраны и защиты.

На рисунке 1 представлена авторская блок-схема разделения объектов авторского и патентного права в соответствии с законодательством Российской Федерации.

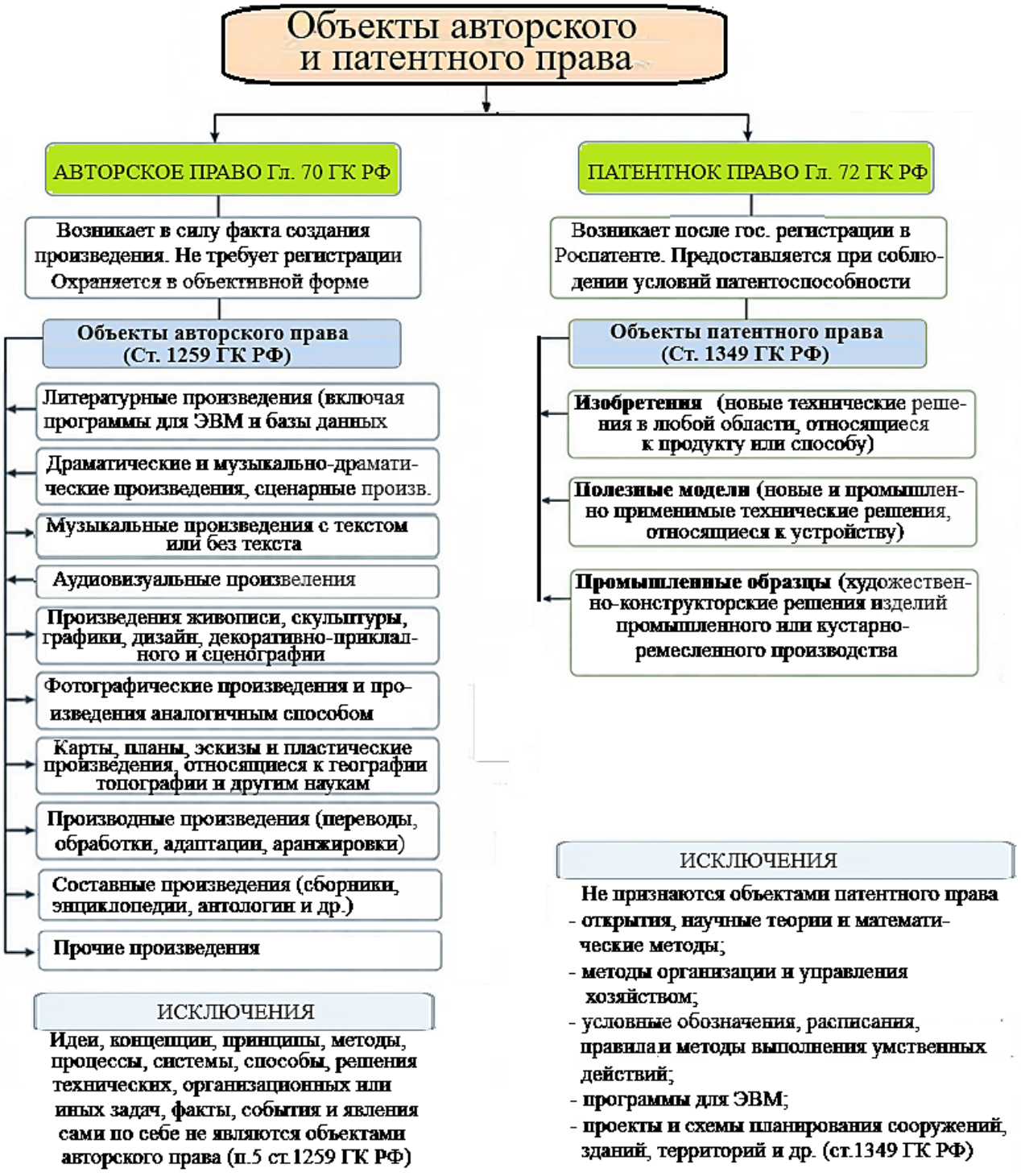

Рисунок 1 – Разделение объектов авторского и патентного права в соответствии с законодательством Российской Федерации

Сущность авторского права заключается в предоставлении правовой охраны результатам творческого труда. Как отмечает В.И. Серебровский, «произведение – это совокупность идей, мыслей и образов, получивших в результате творческой деятельности автора своё выражение в доступной для восприятия человеческими чувствами конкретной форме, допускающей возможность воспроизведения» [2]. Законодательство закрепляет этот подход: согласно п. 4 ст. 1259 ГК РФ, для возникновения, осуществления и защиты авторских прав не требуется регистрация произведения или соблюдение какихлибо иных формальностей: право возникает автоматически в силу факта создания. Ключевой правоприменительный принцип (и поддерживаемый судебной практикой) заключается в разграничении идеи и её выражения.

П. 5 ст. 1259 ГК РФ прямо устанавливает: авторские права не распространяются на идеи, концепции, принципы, методы, процессы, системы, способы решения задач, открытия, факты и языки программирования.

Охране подлежит лишь объективированная форма воплощения творческого замысла, т.е. конкретный текст, код, дизайн, музыкальная партитура, то есть то, что может быть воспринято другими людьми и воспроизведено. К числу охраняемых объектов п. 1 ст. 1259 ГК РФ относит произведения науки, литературы и искусства.

В соответствии с положениями Гражданского кодекса Российской Федерации программы для электронных вычислительных машин и базы данных приравниваются к литературным произведениям. При этом правовой режим охраны баз данных имеет специфику: согласно ст. 1260 ГК РФ, объектом правовой защиты выступает не сама совокупность материалов, а творческий вклад составителя, в частности, оригинальный подбор или расположение материалов (составительство).

Правовую природу программ для ЭВМ раскрывает ст. 1261 ГК РФ, определяя их как совокупность данных и команд, предназначенных для функционирования ЭВМ и иных компьютерных устройств 10,11,13]. При этом свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и баз данных не выполняют правоустанавливающей функции: их назначение носит доказательственный и организационный характер, позволяя зафиксировать факт существования объекта и принадлежность прав на определённую дату.

С учётом изложенного база данных может юридически рассматриваться как объект авторского права, а фактически как функциональное хранилище информации, предназначенное для эффективного управления данными [12]. Иллюстрацией практики оформления прав на указанные объекты служат титулы свидетельств на программы для ЭВМ и базы данных, представленные на рисунке 2.



Рисунок 2 – Титулы Свидетельств на Программы для ЭВМ и Базы данных

Программы для ЭВМ подлежат правовой охране в рамках двух различных правовых режимов, каждый из которых защищает разные аспекты результата интеллекту-

альной деятельности. В рамках авторского права (ст. 1261 ГК РФ) охраняется объективная форма выражения – исходный и объектный код, подготовительные материалы, а также аудиовизуальные отображения, порождаемые программой (включая элементы пользовательского интерфейса, структуру навигации и меню).

При этом возникновение исключительного права происходит автоматически в момент создания программы: регистрация в Роспатенте (ФИПС), предусмотренная ст. 1262 ГК РФ, фактически является ничем иным как депонирование, и в полной мере не является правопорождающей, а выполняет доказательственную функцию, упрощая установление авторства и приоритета в случае спора. Патентно-правовая охрана применима не к программам как таковым, а к техническим решениям, в которых программная составляющая интегрирована с аппаратной частью и обеспечивает достижение конкретного технического результата. Согласно п. 5 ст. 1350 ГК РФ программы для ЭВМ как таковые не признаются изобретениями. Вместе с тем правовая практика и доктрина исходят из того, что алгоритм сам по себе не подлежит патентной охране (принципиальная патентоспособность), тогда как способ реализации алгоритма в составе устройства либо системы устройств, приводящий к объективно измеримому техническому эффекту (например, снижению задержки обработки данных, уменьшению энергопотребления, повышению точности измерений), может отвечать критериям патентоспособности.

Последние изменения законодательства существенно скорректировали подходы к правовой охране IТрешений, в особенности в части защиты программно-аппаратных комплексов. Это напрямую отразилось в нормативных актах, регулирующих регистрацию изобретений. В частности, приказ Минэкономразвития РФ от 21.02.2023 № 107 (в актуальной редакции от 09.02.2026) утвердил новые редакции Правил и Требований к документам заявки на выдачу патента на изобретение. Внесённые поправки актуализировали ряд норм, направленных на расширение возможностей патентной охраны технических решений, реализуемых с использованием программируемых средств. В частности, уточнён подход к квалификации технических решений в ст. 1350 ГК РФ: патентоспособными признаются решения, реализуемые устройствами или системами устройств, способными автоматически обрабатывать информацию по заданным алгоритмам. Кроме того, ст. 1351 ГК РФ допускает патентование в качестве полезных моделей технических решений, воплощённых в программируемых устройствах, включая специализированное программное обеспечение («прошивки») и обученные модели искусственного интеллекта. Также изменения затронули регулирование охраны промышленных образцов (ст. 1352 ГК РФ): допускается предоставление правовой охраны отдельным элементам пользовательских интерфейсов при условии, что они обладают самостоятельной эстетической ценностью и отличимостью.

Таким образом, современная правовая конструкция предполагает комплексный подход к охране IТразработок: авторское право обеспечивает защиту формы выражения программного продукта, тогда как патентное право позволяет охранять техническую сущность решения при условии его интеграции в аппаратную среду и достижения объективного технического результата. При подаче патентной заявки особое значение приобретает аргументация, подтверждающая соответствие заявленного решения критериям патентоспособности: новизне, изобретательскому уровню и промышленной применимости, а также демонстрация причинноследственной связи между программной реализацией и достигаемым техническим эффектом.

В отличие от авторского права, которое возникает автоматически в момент создания произведения, патентная система носит разрешительный характер: правовая охрана предоставляется только после проведения государственной экспертизы и официального признания патентоспособности объекта. Её суть состоит в том, что исключительное право возникает не в силу самого факта создания технического или художественноконструкторского решения, а исключительно по результатам государственной экспертизы и официального признания объекта патентоспособным. Патентное право охватывает две основные категории объектов: технические решения (изобретения и полезные модели) и художественноконструкторские решения (промышленные образ-

цы). Для каждой из них законодатель устанавливает дифференцированные критерии охраноспособности, призванные обеспечить баланс между стимулированием инноваций и поддержанием стандартов качества охраняемых объектов. Так, в соответствии со ст. 1350 ГК РФ для признания технического решения изобретением необходимо одновременное наличие новизны, изобретательского уровня и промышленной применимости. В свою очередь, полезная модель (ст. 1351 ГК РФ) подлежит правовой охране при условии новизны и промышленной применимости, тогда как критерий изобретательского уровня к ней не применяется. Что касается промышленных образцов, то их охраноспособность определяется по критериям новизны и оригинальности, отражающим творческий характер существенных признаков внешнего вида изделия.

Установление этих критериев и разрешительной процедуры предоставления правовой защиты создает для правообладателя набор юридически значимых преимуществ и инструментов для управления своими интеллектуальными активами. В первую очередь, прохождение государственной экспертизы и получение патента подтверждает приоритет и исключительность прав патентообладателя, создавая юридически закрепленную монополию на использование патента на территории его действия (статья 1358 Гражданского кодекса Российской Федерации). Это позволяет правообладателю эффективно предотвращать несанкционированное использование разработки третьими лицами, включая производство, применение, продажу и другие способы введения патента в гражданский оборот, а также подавать иски о прекращении нарушения и возмещении ущерба или компенсации в соответствии со статьей 1252 Гражданского кодекса Российской Федерации. Кроме того, разрешительный характер патентной защиты в сочетании с предварительной проверкой соответствия патента установленным критериям повышает правовую определенность и инвестиционную привлекательность интеллектуального актива: наличие выданного патента служит юридическим подтверждением патентоспособности решения и снижает риск будущих претензий на права.

Для хозяйствующих субъектов патент становится инструментом стратегического управления: он может использоваться как нематериальный актив, учитываемый как часть активов организации, а также служить основанием для коммерциализации посредством лицензирования, отчуждения прав или внесения в уставный капитал. При подготовке заявок на изобретения использование математической обработки массивов информации имеет важное значение, позволяя оптимизировать процессы разработки и обосновать патентоспособность заявленных технических решений [3]. Споры, возникающие в области авторского права, разрешаются посредством юридической экспертизы, призванной установить наличие или отсутствие признаков нарушения исключительных прав и определить правовой статус спорных объектов [4, 6].

Правовая защита интеллектуальной собственности обеспечивается, среди прочего, признанием независимости производных работ, что предполагает возможность их правовой защиты при условии наличия в них достаточного творческого вклада, отличающего их от оригинального объекта [5]. Например, при проектировании существующих изделий использование новых перспективных физических методов позволяет достичь оригинальности в дизайне [7]. В научной литературе представлены подходы к решению вопросов оптимизации сроков и расчета обобщенного показателя интеллектуальных систем [8, 12]. Указанные методические средства могут быть востребованы в практике разработки технических решений, что, в свою очередь, подчеркивает необходимость адекватной правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности. В этой связи разработчикам целесообразно уделять повышенное внимание правовой стороне защиты соответствующих объектов [15].

В то же время, понимание правовых механизмов защиты невозможно без учета теоретических основ систематизации нормативного материала: в работе [16] проводится различие между понятиями «систематизация права» и «систематизация законодательства» на основе анализа примеров из практики систематизации в различных правовых системах. С учетом обозначенных теоретических и прикладных аспектов, соблюдение установленных законом критериев патентоспособности имеет особое значение при регистрации прав на технические решения. При этом на практике наиболее

популярными являются патенты, подтверждающие исключительные права на способы изготовления продукции [9], что отражает приоритеты хозяйствующих субъектов в области правовой защиты технологических разработок. На рисунке 3 приведены примеры некоторых охранных документов на изобретения.



Рисунок 3 – Примеры охранных документов на изобретения



Рисунок 4 – Примеры охранных документов на промышленные образцы

Для целей доказывания факта нарушения исключительных прав в судебном порядке требуется формирование совокупности достоверных и допустимых доказательств. При незаконном размещении произведения в сети «Интернет» одним из эф-

фективных способов фиксации противоправного использования выступает составление нотариального протокола осмотра сайта. Такой протокол позволяет документально подтвердить факт размещения спорного объекта на конкретную дату и идентифицировать его содержание. Суды признают такой протокол достоверным доказательством размещения информации в сети на момент его составления, пока ответчиком не доказано иное. Важное практическое значение имеет то, что нотариус вправе произвести осмотр без уведомления нарушителя. Данный факт обусловлен тем, что информация в сети может быть оперативно удалена, и представление доказательств впоследствии станет затруднительным.

Дополнительно доказательственную базу могут формировать скриншоты вебстраниц. Согласно разъяснениям Пленума Верховного Суда РФ (абз. 2 п. 55 Постановления от 23.04.2019 № 10 «О применении части четвёртой Гражданского кодекса Российской Федерации») [17], допустимыми являются распечатки материалов из информационнотелекоммуникационной сети, сделанные и заверенные лицами, участвующими в деле, при условии указания адреса интернетстраницы, с которой сделана распечатка, а также точного времени её получения [5]. Такие скриншоты подлежат оценке судом наравне с прочими доказательствами (ст. 67 ГПК РФ, ст. 71 АПК РФ). При этом на практике суды могут отклонить скриншоты, если в них отсутствует полный адрес вебстраницы (ограничились лишь доменным именем), что создаёт препятствие для установления факта наличия спорного контента в сети.

В число иных доказательств могут входить документы, подтверждающие приобретение контрафактных экземпляров (кассовые и товарные чеки и т. п.), а также иные материалы: исходники произведения с метаданными, переписка, свидетельствующая о нарушении, заключения специалистов (например, для сопоставительного анализа при спорах о тождестве объектов). Совокупность таких доказательств позволяет установить юридически значимые обстоятельства: принадлежность исключительных прав истцу, факт неправомерного использования объекта ответчиком и объём допущенного нарушения, что является необходимым условием для применения мер гражданскоправовой ответственности в порядке ст. 1252 ГК РФ

Заключение

Комплексная защита объектов интеллектуальной собственности выступает необходимы условием сохранения конкурентного преимущества хозяйствующего субъекта, капитализации нематериальных активов и обеспечения устойчивого долгосрочного развития предпринимательской деятельности. Ключевым фактором эффективности такой защиты является своевременное выявление, охрана результата интеллектуальной деятельности, а также последующее пресечение нарушений исключительных прав, что позволяет минимизировать имущественные потери и предотвратить неправомерное использование.

Правовая охрана результатов интеллектуальной деятельности образует институциональную основу современной инновационной и креативной экономики: именно гарантированность исключительных прав стимулирует инвестирование в разработку новых технологий, продуктов и творческих решений. Пренебрежение мерами правовой защиты фактически влечёт утрату имущественных и неимущественных интересов правообладателя, создавая условия для извлечения выгоды недобросовестными участниками оборота за счёт чужого творческого или технического вклада.

Литература

1. Смирнова В.Р. Построение инновационной экономики России через развитие института интеллектуальной собственности / В.Р. Смирнова, Ю.С. Васильева // Инновации. – 2018. – № 3(233). – С. 14–19.
2. Вопросы советского авторского права / Акад. наук СССР. Ин-т права им. А.Я. Вышинского. – М. : Изд-во Акад. Наук СССР, 1956. – 283 с.
3. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвёртая) от 18.12.2006 № 230ФЗ (ред. от 11.02.2025) // Собрание законодательства РФ. 2006. № 52 (ч. I). Ст. 5496.
4. Бурлака Ф.Д. Применение математических алгоритмов для оптимизации 3D моделей / Ф.Д. Бурлака, Е.В. Иночкина // В сборнике: Молодежная наука. Сборник лучших научных

работ молодых ученых. Материалы LI студенческой научной конференции. – Краснодар, 2024. – С. 616–620.
5. Захаренко Д.С. Некоторые аспекты судебной экспертизы по гражданским делам / Д.С. Захаренко, Э.С. Торосян // В сборнике: Тенденции и перспективы развития современного научного знания. Материалы XIV Международной научно-практической конференции. Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований». – 2015. – С. 129–133.
6. Захаренко Д.С. Особенности правовой охраны производных произведений / Д.С. Захаренко, Э.С. Торосян // Юрист. – 2022. – № 12. – С. 36–42.
7. Захаренко Д.С. Правовая судебная экспертиза по гражданским делам: дискуссия о допустимости. В сборнике: Политика и право в социально-экономической систем общества / Д.С. Захаренко, Э.С. Торосян // Материалы XIV Международной научно-практической конференции. Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований». – 2015. – С. 17–21.
8. Кулиева Р.Г. Перспективные элементы для создания радиопоглощающих магнитных материалов / Р.Г. Кулиева, Е.Г. Кубенко // Информационная безопасность – актуальная проблема современности. Совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов в области информационной безопасности. – 2019. – № 2(11). – С. 162–164.
9. Лившиц И.И. Разработка методики контроля уровня защищенности информации объектов критической информационной инфраструктуры (2023) / И.И. Лившиц, А.С. Бакшеев // Вопросы кибербезопасности. – 2026. – № 2(54).
10. Патент РФ на изобретение № 2 864 805. Способ получения безалкогольных напитков на основе мякоти хурмы / Э.С. Торосян, А.П. Клечкина, Г.И. Касьянов, Д.Г. Касьянов. Заявка № 2025121837/10(051349). Заявлен 07.08.2025, опубликован 29.06.2026. Бюл. № 19.
11. Программа для коррекции ошибок «Конвертер символьного форматированного текста для коррекции ошибок» / Г.И. Касьянов, Е.В. Шейкина, А.С. Бородихин, Е.И. Мякинникова, Е.В. Иночкина. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015615115, 07.05.2015. Заявка № 2015611707 от 13.03.2015.
12. Программа для построения регрессионной модели процесса комбинированной CO_2-сверхкритической и вакуумной СВЧ-сушки бахчевых культур / Е.В. Иночкина, С.В. Усатиков, Г.И. Касьянов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018618148, 10.07.2018. Заявка № 2018615289 от 23.05.2018.
13. Синева Е.Е. Построение составных критериев для оптимизации термов и обобщенного показателя баз знаний интеллектуальных систем (2023) / Е.Е. Синева, Н.И. Сидняев // Вопросы кибербезопасности. – 2026. – № 2(54).
14. Система автоматизации распознавания электронных изображений и проверки их подлинности при помощи нейронной сети «Электронный опознаватель изображений» / К.С. Авдеенко, Р.Г. Кулиева, О.В. Годовых, А.В. Мальков. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025617667, 27.03.2025. Заявка № 2025616255 от 21.03.2025.
15. Схема «Принцип конструирования продуктов специализированного питания» / Е.В. Иночкина, Е.В. Шейкина, К.К. Филиппов. Патент на промышленный образец RU 148027, 24.06.2025. Заявка № 2025501108 от 28.02.2025.
16. Торосян Э.С. Правовые аспекты изобретательской деятельности в пищевой промышленности / Э.С. Торосян, Г.И. Касьянов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 1. – С. 111–118.
17. Торосян Э.С. Понятия «Систематизация права» и «Систематизация законодательства» / Э.С. Торосян, Т.В. Фарои // В сборнике: Социально-гуманитарный вестник. Всероссийский сборник научных трудов. – Краснодар, 2017. – С. 54–56.
18. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 23.04.2019 № 10 «О применении части четвёртой Гражданского кодекса Российской Федерации» // Российская газета. – 2019. – № 96.

References

1. Smirnova V.R. Building an Innovative Economy in Russia through the Development of the Intellectual Property Institution / V.R. Smirnova, Yu.S. Vasilyeva // Innovations. – 2018. – № 3(233). – P. 14–19.
2. Issues in Soviet Copyright Law / Academy of Sciences of the USSR, A.Y. Vyshinsky Institute of Law. – M. : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1956. – 283 p.
3. Civil Code of the Russian Federation (Part Four) dated December 18, 2006, № 230-FZ (as amended on February 11, 2025) // Collected Legislation of the Russian Federation. 2006. № 52 (Part I). Art. 5496.

4. Burlaka F.D. Application of Mathematical Algorithms for the Optimization of 3D Models / F.D. Burlaka, E.V. Inochkina // In: Youth Science: A Collection of the Best Scientific Works by Young Scholars. Proceedings of the 51st Student Scientific Conference. – Krasnodar, 2024. – P. 616–620.
5. Zakharenko D.S. Certain Aspects of Forensic Expert Examination in Civil Cases / D.S. Zakharenko, E.S. Torosyan // In: Trends and Prospects for the Development of Modern Scientific Knowledge. Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference. Scientific and Information Publishing Center «Institute for Strategic Studies». – 2015. – P. 129–133.
6. Zakharenko D.S. Specifics of the Legal Protection of Derivative Works / D.S. Zakharenko, E.S. Torosyan // Yurist (The Jurist). – 2022. – № 12. – P. 36–42.
7. Zakharenko D.S. Forensic Expert Examination in Civil Cases: A Discussion on Admissibility. In: Politics and Law in the Socio-Economic System of Society / D.S. Zakharenko, E.S. Torosyan // Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. Scientific and Information Publishing Center «Institute for Strategic Studies». – 2015. – P. 17–21.
8. Kulieva R.G. Promising Elements for Creating Radar-Absorbing Magnetic Materials / R.G. Kulieva, E.G. Kubenko // Information Security: A Pressing Contemporary Issue. Improving Educational Technologies for Training Specialists in the Field of Information Security. – 2019. – № 2(11). – P. 162–164.
9. Livshits I.I. Development of a Methodology for Assessing the Information Security Level of Critical Information Infrastructure Facilities (2023) / I.I. Livshits, A.S. Baksheev // Cybersecurity Issues. – 2026. – № 2(54).
10. RF Patent for Invention № 2,864,805. Method for producing non-alcoholic beverages based on persimmon pulp / E.S. Torosyan, A.P. Klechkina, G.I. Kasyanov, D.G. Kasyanov. Application № 2025121837/10(051349). Filed August 7, 2025; published June 29, 2026. Bulletin № 19.
11. Error-correction software: «Formatted Text Converter for Error Correction» / G.I. Kasyanov, E.V. Sheykina, A.S. Borodikhin, E.I. Myakinnikova, E.V. Inochkina. Certificate of Computer Program Registration RU 2015615115, May 7, 2015. Application № 2015611707, filed March 13, 2015.
12. Software for constructing a regression model of the combined supercritical CO_2 and vacuum-microwave drying process for melons and gourds / E.V. Inochkina, S.V. Usatikov, G.I. Kasyanov. Computer program registration certificate RU 2018618148, July 10, 2018. Application № 2018615289, filed May 23, 2018.
13. Sineva E.E. Construction of composite criteria for optimizing terms and a generalized indicator for the knowledge bases of intelligent systems (2023) / E.E. Sineva, N.I. Sidnyaev // Cybersecurity Issues (Voprosy kiberbezopasnosti). – 2026. – № 2(54).
14. «Electronic Image Identifier» – an automation system for recognizing electronic images and verifying their authenticity using a neural network / K.S. Avdeenko, R.G. Kulieva, O.V. Godovykh, A.V. Malkov. Certificate of computer program registration RU 2025617667, March 27, 2025. Application № 2025616255, March 21, 2025.
15. «Principle for Designing Specialized Nutritional Products» (scheme) / E.V. Inochkina, E.V. Sheikina, K.K. Filippov. Industrial design patent RU 148027, June 24, 2025. Application № 2025501108, February 28, 2025.
16. Torosyan E.S. Legal Aspects of Inventive Activity in the Food Industry / E.S. Torosyan, G.I. Kasyanov // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 1. – P. 111–118.
17. Torosyan E.S. The Concepts of «Systematization of Law» and «Systematization of Legislation» / E.S. Torosyan, T.V. Faroi // In the collection: Social and Humanitarian Bulletin. All-Russian Collection of Scientific Papers. – Krasnodar, 2017. – P. 54–56.
18. Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation dated April 23, 2019, № 10 «On the Application of Part Four of the Civil Code of the Russian Federation» // Rossiyskaya Gazeta. – 2019. – № 96.

УДК 620.179.14

МАГНИТНЫЙ МЕТОД КАК СПОСОБ ВНУТРИТРУБНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

♦♦♦♦♦

THE MAGNETIC METHOD AS A METHOD OF INTRUSIVE TUBE DEFECT DETECTION

Федотова М.В.
старший преподаватель
кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
starodub.m@mail.ru

Ефремов Д.С.
студент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
dima.kek48@mail.ru

Усенко Е.А.
студент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
usenkoe@gmail.com

Вервыкишко С.Н.
студент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
sgeche@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрен магнитный метод внутритрубной дефектоскопии, его использование, преимущества и недостатки, также было рассмотрено его применение на примере производства.

Ключевые слова: внутритрубная дефектоскопия, магнитный метод, снаряд, устройство, дефектоскоп.

Fedotova M.V.
Senior Lecturer at the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
starodub.m@mail.ru

Efremov D.S.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
dima.kek48@mail.ru

Usenko E.A.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
usenkoe@gmail.com

Verkivyshko S.N.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
sgeche@gmail.com

Annotation. This article examines the magnetic method of in-line inspection, its use, advantages and disadvantages, and also looks at its application using a production example.

Keywords: in-line inspection, magnetic method, projectile, device, flaw detector.

Внутритрубная дефектоскопия магистральных трубопроводов – это метод неразрушающего контроля, при котором внутри трубы с помощью специального устройства (дефектоскопического снаряда) обследуют её стенку по всей протяжённости трассы. При этом не нужно вскрывать грунт или останавливать транспортировку продукта – снаряд движется вместе с потоком перекачиваемой среды (нефти, газа, нефтепродукта).

Магнитный метод – один из ключевых способов неразрушающего контроля трубопроводов. Он особенно востребован для диагностики магистральных газо- и нефтепроводов, в том числе в рамках внутритрубной дефектоскопии (ВТД) [1]:

- Магнитный метод (MFL – Magnetic Flux Leakage). Снаряд намагничивает стенку трубы. В местах дефектов (коррозия, трещины, вмятины) магнитный поток «вытекает», и это фиксируют датчики (Холла или индукционные катушки). Метод хорошо выявляет потерю металла, но менее чувствителен к плоским трещинам, ориентированным вдоль оси трубы;
- TFI (Transverse Flux Inspection, контроль поперечного потока) – поперечное намагничивание. Эффективен для продольных трещин и дефектов продольных сварных швов – именно такие дефекты часто наиболее опасны для трубопроводов;
- Метод магнитной памяти металла (ММПМ). Использует остаточную намагниченность, обусловленную напряжённо-деформированным состоянием металла и историей нагрузок. Позволяет находить зоны концентрации напряжений, потенциально опасные участки и аномалии без принудительного намагничивания;
- Бесконтактный магнитометрический контроль (над трассой). Проводится с поверхности земли: магнитометры фиксируют аномалии магнитного поля над трубо-

проводом. Подходит для экспресс-оценки состояния и поиска подозрительных участков без вскрытия грунта.

Преимущества:

- Возможность контроля без остановки перекачки и без вскрытия грунта (для внутритрубных и надтрассовых методов);
- Высокая производительность: за один пропуск снаряда можно обследовать десятки и сотни километров;
- Хорошая чувствительность к потере металла и трещиноподобным дефектам.
- Совместимость с другими методами: часто используют в составе комбинированных снарядов (MFL+TFI, MFL+ультразвук и т.п.).

Ограничения и нюансы:

- Применим преимущественно к ферромагнитным сталям (углеродистые и низколегированные стали). Для аустенитных нержавеющих сталей и неметаллических труб – неэффективен;
- Чувствительность зависит от толщины стенки, геометрии дефекта, скорости движения снаряда и качества очистки внутренней полости;
- Требуется тщательная подготовка трассы: очистка, калибровка, обеспечение проходимости;
- Локализация дефекта по длине и окружности трубы требует точной привязки данных (одометрия, маркеры, инерциальные системы).

Внутритрубная дефектоскопия активно используется как один из методов на кущевском линейном производственном управлении магистральных газопроводов с помощью специального снаряда-дефектоскопа. На корпусе снаряда закрепляют постоянные магниты, а магнитный поток передают в стенку трубы через гибкие элементы – металлические щётки или полиуретановые детали, которые плотно прилегают к внутренней поверхности. Пример снаряда приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема магнитного дефектоскопа

В ВТД участвуют сразу несколько устройств. Очистной скребок очищает внутреннюю полость и стенки газопровода от различных отложений. После этого магнитный очистной поршень осуществляет намагничивание газовой магистрали и собирает металлические предметы в трубе. Затем в дело вступает профилемер. Он предназначен для измерения профиля внутренней поверхности трубы и тестовой оценки проходимости газопровода. Итоговая работа, а именно: непосредственное обнаружение и регистрация дефектов, – задача дефектоскопов продольного и поперечного намагничивания [2].

Литература

1. Канайкин В.А. Внутритрубная магнитная дефектоскопия магистральных трубопроводов. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 308 с.
2. Бобров А.Л. Основы магнитного неразрушающего контроля : учеб. пособие / А.Л. Бобров, Е.В. Лесных. – Новосибирск : СГУПС, 2018. – 89 с.

References

1. Kanaykin V.A. In-line magnetic flaw detection of main pipelines. – Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. – 308 p.
2. Bobrov A.L. Fundamentals of magnetic non-destructive testing : textbook / A.L. Bobrov, E.V. Lesnykh. – Novosibirsk : SSUPS, 2018. – 89 p.

УДК 628.3

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА НЕФТЕШЛАМА
♦♦♦♦♦
ULTRASONIC TREATMENT OF OIL SLUDGE

Федотова М.В.
старший преподаватель
кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
starodub.m@mail.ru

Серопьянц Ю.С.
студент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
asd299905@icloud.com

Леуцкий Я.Н.
студент кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
lastnolik@mail.ru

Аннотация. В статье даётся определение нефтяных шламов, их трудность очистки и переработки, а также рассмотрены традиционные методы очистки и инновационный метод – ультразвуковая переработка. Рассмотрены патенты и практическое применение данной технологии.

Ключевые слова: нефтешламы, очистка нефтешламов, ультразвуковая переработка, кавитация, излучатели.

Fedotova M.V.
Senior Lecturer at the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
starodub.m@mail.ru

Seropiants Y.S.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
asd299905@icloud.com

Leutsky Y.N.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
lastnolik@mail.ru

Annotation. The article provides a definition of oil sludge, discusses the difficulties associated with its treatment and processing, and also examines traditional treatment methods as well as an innovation method – ultrasonic processing. The patents and practical applications of this technology are considered.

Keywords: oil sludge, treatment of oil sludge, ultrasonic processing, cavitation, emitter.

В процессе добычи и переработки нефти неизбежно образуются нефтяные шламы (нефтешламы). Нефтешламы – сложные устойчивые многокомпонентные смеси, которые состоят в основном из нефтепродуктов, механических примесей и воды.

Вопрос очистки нефтешламов является ключевым в современной нефтяной промышленности. Он связан с их крайне отрицательным влиянием на экологию, а также со сложностью утилизации из-за крайне разнообразного и индивидуального состава каждого отдельного случая.

На данный момент используются следующие традиционные методы очистки: механическая очистка, термическая обработка – нагрев нефтешламов до высокой температуры; биологическая очистка – микроорганизмы превращают нефтяные углеводороды в более простые соединения; химические методы – разрушение нефтешламов при помощи химических реагентов [1].

Перечисленные выше методы имеют серьёзные недостатки. Для их устранения, а также для упрощения переработки нефтяных шламов, ведутся работы по изучению и внедрению инновационных методов очистки и переработки, например, ультразвуковая переработка.

Ультразвуковая переработка – под действием ультразвука волны распространяется в среде, создавая области сжатия и разрежения, тем самым заставляя молекулы быстрее двигаться и чаще соударяться, образуя пузырьки, которые при достижении определенных размеров схлопываются. Данный процесс называется кавитацией, и, благодаря этому процессу повышаются температура и давление в эмульсионной системе, снижается её вязкость и стабильность, и процесс переработки протекает быстрее [2].

Существует множество патентов, которые используют данный метод. Например, в патенте № 2659986 предложен способ переработки нефтешламов под действи-

ем ультразвукового облучения в режиме стоячей волны в диапазоне 20–30 кГц, а затем на частотах 40–100 кГц с предварительным нагревом сырья до 60–90 ℃ и в присутствии деэмульгатора. В результате увеличивается производительность процесса разделения нефтешлама, однако достигнутая производительность в промышленных масштабах невелика, так как обработка ультразвуком занимает 2,5 часа. На рисунке 1 приведена схема ультразвуковой переработки, представленная в данном патента [3].

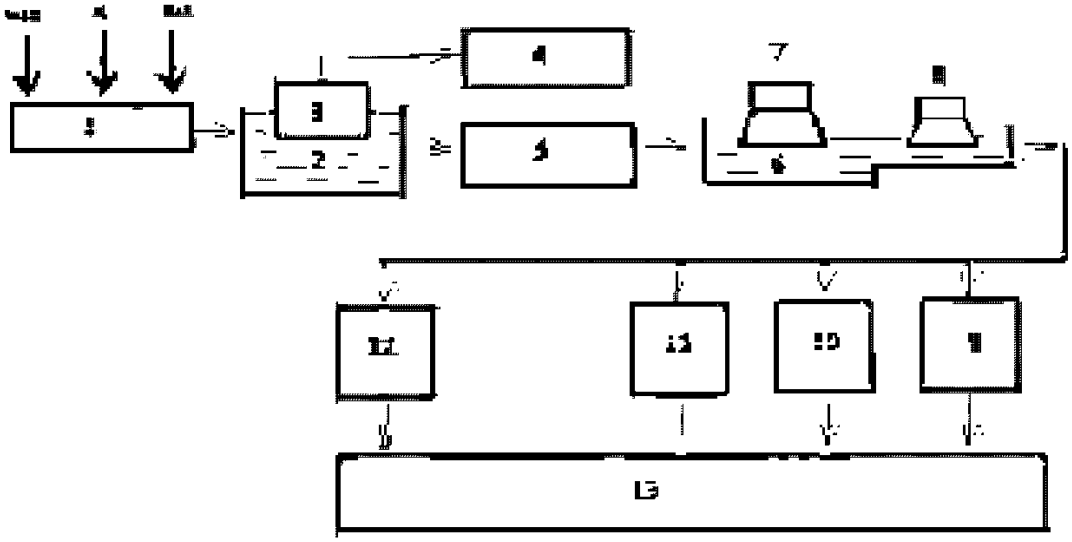

Рисунок 1 – Ультрозвуковая переработка:
1 – емкость для приемки нефтешлама; 2 – мешалка с подогревом и регулировкой температуры;
3 – скиммер; 4 – емкость для приемки нефтепродукта; 5 – насос;
6 – лоток для ультразвуковой обработки нефтешлама; 7 – излучатели частотой 20–30 кГц;
8 – излучатели частотой 40–120 кГц; 9–12 – емкости для отстоя;
13 – емкость для дополнительного отстоя, НШ – нефтешлам; В – вода; АН – анолит.

Данная технология применяется не только для переработки уже накопленного нефтешлама, но и для предотвращения его образования в оборудовании. Существует ультразвуковая система очистки в электродегидраторах установок атмосферной перегонки [4].

Ультразвуковая обработка является высокоэкологичным и высокоэффективным процессом переработки нефтяных шламов. Так, благодаря ультразвуковой обработке нефтешлама возможно получить 80 % полезного нефтепродукта за 10 минут при воздействии ультразвука частотой 20кГц мощностью 66 Вт. [2]. Однако ультразвук эффективен для небольших объёмов нефтешлама, поэтому данную технологию целесообразно использовать совместно с традиционными методами очистки нефтешлама.

Литература

1. Петровский Э.А. Современные технологии переработки нефтешламов / Э.А. Петровский, Е.А. Соловьёв, О.А. Коленчуков // Вестник БГТУ. – 2018. – С.124–132.
2. Бариева Р.Н. Современные методы переработки нефтешламов / Р.Н. Бариева, Р.О. Бабенцева // Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 2022. – С. 16-19.
3. Способ разделения нефтешлама: Патент № 2659986 Рос. Федерация; № 2017134237; заявл. 02.10.2017; опубл. 04.07.2018.
4. Хуан Цзиньвэй. Применение ультразвуковой технологии очистки от шлама в электродегидраторах установок атмосферной перегонки / Хуан Цзиньвэй, Чжан Яньцзы, Чжан Чжимин // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2025. – № 2.

References

1. Petrovsky E.A. Modern technologies for processing oil sludge / E.A. Petrovsky, E.A. Solovyov, O.A. Kolenchukov // Vestnik BGTU. – 2018. – P. 124–132.
2. Barieva R.N. Modern Methods of Processing Oil Sludge / R.N. Barieva, R.O. Babentseva // Nizhnekamsk Chemical and Technological Institute (branch) of the Kazan National Research Technological University. – 2022. – P. 16–19.
3. The method of separation of oil sludge: Patent № 2659986 Russian Federation; № 2017134237; application 02.10.2017; published 04.07.2018.
4. Huang Jinwei. Application of ultrasonic sludge cleaning technology in electric dehydrators of atmospheric distillation units / Huang Jinwei, Zhang Yanzi, Zhang Zhimin // Oil Refining and Petrochemicals. – 2025. – № 2.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

•••••••

SCIENCES ABOUT THE EARTH

УДК 622.276

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПЕРФОРАЦИИ КАК СПОСОБ ДОРАЗРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

♦♦♦♦♦

IDENTIFICATION OF PROMISING PERFORATION INTERVALS AS A METHOD FOR THE FURTHER DEVELOPMENT OF REMAINING RECOVERABLE RESERVES IN UPPER CRETACEOUS DEPOSITS

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 связи с высокой неопределённостью, возникающей при реализации различных проектов в большинстве регионов России, всё более востребованными становятся современные методы определения параметров пласта с помощью нейросетевого моделирования. Рассматривается возможность применения искусственной нейронной сети для выявления перспективных интервалов перфорации верхнемеловых отложений, которые характеризуются высокой степенью неопределённости. В статье предложена методика доразработки остаточных извлекаемых запасов верхнемеловых отложений на основе нейросетевого моделирования путём выделения перспективных интервалов перфорации.

Ключевые слова: методика по выявлению низкообводнённых интервалов перфорации; искусственная нейронная сеть; базовая структура нейронной сети; нейросетевое моделирование; первичная проверка модели; рекомендуемые интервалы под перфорацию; доразработка остаточных извлекаемых запасов.

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. Given the high level of uncertainty associated with project implementation across most Russian regions, modern methods for determining formation parameters using neural network modeling are becoming increasingly in demand. This paper examines the potential use of an artificial neural network to identify high-potential perforation intervals within Upper Cretaceous deposits, which are characterized by significant uncertainty. A methodology is proposed for the further development of remaining recoverable reserves in Upper Cretaceous deposits based on neural network modeling, specifically through the identification of promising perforation intervals.

Keywords: methodology for identifying low-water-cut perforation intervals; artificial neural network; basic neural network structure; neural network modeling; initial model validation; recommended perforation intervals; further development of remaining recoverable reserves.

Общие сведения о месторождении

Рассматриваемое месторождение нефти и газа (далее Тихомировское месторождение) расположено в пределах Величаевско-Максимокумской зоны нефтегазонакопления Прикумского нефтегазоносного района Восточно-Предкавказской нефтегазоносной области.

В структурно-тектоническом отношении месторождение расположено в пределах Величаевско-Максимокумского вала зоны Манычских прогибов.

Стратиграфический диапазон осадочного чехла Прикумского нефтегазоносного района охватывает отложения от триасового до четвертичного возраста. Максимальная глубина разреза 3900 м зафиксирована в скважине № 6.

Маастрихсткие отложения верхнего мела традиционно рассматриваются как один из перспективных нефтегазоносных комплексов. Однако, несмотря на доказанную промышленную продуктивность, в общем объёме нефтегазопоисковых работ верхнемеловые отложения играют весьма ограниченную роль. Это связано со сложностью строения маастрихтского природного резервуара, а также специфическими условиями формирования и распространения залежей нефти, что обусловливает трудности их поиска, разведки и разработки. Некоторые трудности также возникают при подсчёте запасов углеводородного сырья в карбонатных коллекторах с точки зрения определения их полезной ёмкости.

Тихомировское месторождение выявлено по результатам сейсмических исследований, проведённых в 1977 году.

Месторождение открыто в 1980 году в результате глубокого разведочного бурения, подтвердившего наличие структуры и установившее промышленную нефтеносность меловых отложений. В 1984 году на месторождении начата пробная эксплуатация, а в 1986 году месторождение введено в промышленную разработку.

Промышленная нефтеносность Тихомировского месторождения связана с 3 объектами: K_2m, K_1al пласт I и J_1t пласт VII; 2 объекта находятся в консервации: K_1a пласт VIII_{3+4} (Тихомировская площадь) и K_2m (Восточно-Тихомировская площадь) (в разработку не вводился).

Основным объектом исследования в работе являются верхнемеловые отложения K_2m.

Глубокое разведочное бурение, начатое на поднятии в 1980 году, подтвердило наличие структуры и позволило установить промышленную нефтеносность меловых отложений. Во всех скважинах при опробовании объекта K_2m получены притоки нефти с водой. Эта залежь является самой крупной и занимает всю площадь месторождения – основной объект изучения.

Уточнённая структурная карта, составленная по данным сейсморазведки в 1982 году, явилась основой для дальнейшего проведения геологоразведочных работ. Бурение разведочных скважин закончено в 1986 году. До окончания промышленной разведки в конце 1983 года начато эксплуатационное бурение.

Всего на Тихомировском месторождении пробурено 55 скважин, в том числе 1 нагнетательная. Наибольшее количество скважин (32 ед.) пробурено на залежь K_2m, 11 скважин пробурено на залежь K_1al пласта I, 1 скважина – на залежь K_1a пласта VIII_{3+4} (Тихомировская площадь), 2 скважины – на залежь K_1a пласта VIII_{3+4}, 8 скважин – на залежь J_1t пласта VII. Все объекты разрабатываются самостоятельными сетками скважин.

По состоянию на 01.01.2026 г. фонд скважин составляет: 21 – действующая добывающая, 3 – действующие нагнетательные, 4 – в бездействии, 20 – в консервации (в том числе 10 в нагнетательном фонде), 2 – пьезометрические, 1 – в ожидании ликвидации, 4 – ликвидированные.

Коллекторские свойства и нефтенасыщенность продуктивных пластов определялись по данным анализов керна, промыслово-геофизических и гидродинамических исследованиям.

Пористость коллекторов продуктивных пластов определялась по представительным образцам керна как среднеарифметическое по образцам и скважинам. Представительными принимались образцы, имеющие коэффициент проницаемости выше граничного значения. Образцы, в которых проницаемость не определялась, признавались представительными в случае, если их значение пористости было выше граничного.

Физико-химическая характеристика нефти и газа Тихомировского месторождения составлена по результатам исследований нефтяного газа, пластовых и поверхностных проб нефти.

Нефть из отложений маастрихтского яруса изучена по 3 пробам пластовой и 2 пробам дегазированной нефти. В пределах залежи свойства нефти изменяются в следующих пределах: давление насыщения 5,3–6,3 МПа, газовый фактор 52,2–58,6 $м^3/т$, плотность в пластовых условиях – 756–762 $кг/м^3$, плотность дегазированной нефти – 839–864 $кг/м^3$, выход светлых фракций до температуры 300 °С – 46–55 %. Среднее содержание смол – 10 %, парафинов – 11 %, температура плавления парафинов – 55–580 °С. Нефти смолистые, высокопарафиновые, малосернистые, слабогазонасыщенные. Нефтяной газ жирный, пропан-этанового типа, содержание метана 44,6–49,0 %. Свойства пластовой нефти объекта K_2m приведены в таблице 1, геолого-физическая характеристика объекта K_2m – в таблице 2.

Таблица 1 – Свойства пластовой нефти объекта K_2m

Наименование исследований	Количество		Диапазон изменения	Среднее значение
	скважин	проб		
Давление насыщения газом, МПа	5	5	5,3–6,3	
Газосодержание, $м^3/т$	5	5	52,2–58,6	
Плотность газированной нефти, $кг/м^3$	5	5	756–762	
Плотность дегазированной нефти, $кг/м^3$	5	5	839–864	845
Вязкость, мПа · с	5	5	0,77–0,91	
Объёмный коэффициент при дифференцированном разгазировании в поверхностных условиях, доли ед.	5	5	1,20–1,18	
Пластовая температура, °С	5	5	–	130

Таблица 2 – Геолого-физическая характеристика объекта K_2m

Параметры	Объект k_2m
Средняя глубина залегания кровли, м	2506
Абсолютная отметка ВНК, м	–2475
Тип залежи	массивная
Тип коллектора	трещинный
Площадь нефте/газоносности, тыс. $м^2$	26232
Средняя общая толщина, м	71,3
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	43,9
Коэффициент пористости, доли ед.	0,023
Коэффициент нефтенасыщенности пласта, доли ед.	0,27
Проницаемость, $мкм^2$	0,093
Коэффициент песчанистости, доли ед.	0,91
Расчленённость, доли ед.	2,7
Начальная пластовая температура, °С	130
Начальное пластовое давление, МПа	29,4
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа · с	0,77-0,83
Плотность нефти в пластовых условиях, $кг/м^3$	759
Плотность нефти в поверхностных условиях, $кг/м^3$	850
Объёмный коэффициент нефти, доли ед.	1,19
Содержание серы в нефти, %	0,16–0,53
Содержание парафина в нефти, %	6,44–14,31
Давление насыщения нефти газом, МПа	5,9
Газосодержание, $м^3/т$	55,4
Вязкость воды в пластовых условиях, мПа · с	0,35
Плотность воды в поверхностных условиях, $кг/м^3$	1027
Коэффициент вытеснения (водой), доли ед.	0,600

Начальные запасы нефти по месторождению на 01.01.2026 г.:

- геологические категории $АВ_1$ – 12673 тыс. тонн;
- извлекаемые категории $АВ_1$ – 4788 тыс. тонн.

Запасы растворённого газа составили:

- геологические категории $В_1$ / $В_2$ – 276/62 млн $м^3$;
- извлекаемые категории $В_1$ / $В_2$ – 86/19 млн $м^3$.

Характеристика текущего состояния разработки эксплуатационного объекта K_2m

Пробная эксплуатация залежи начата в июле 1985 года разведочной скважиной № 7, вступившей в разработку с дебитами по нефти 27 тонн/сут., по жидкости 80 тонн/сут. и обводнённостью 66,2 %. В 1986–1987 гг. также из разведочного фонда в эксплуатацию введены ещё 7 скважин.

Всего в добывающем фонде перебывали 32 скважины: из них 31 скважина пробурена на пласт, а в одной скважине – № 44, в 2020 году проведено приобщение пла-

ста K_2m к K_1al пласту I. С 2020 по 2023 гг. в скважине № 44 осуществлялась совместная эксплуатация пласта K_2m и K_1al пласта I. В конце 2023 года пласт K_2m был изолирован.

В нагнетательном фонде перебывало 14 скважин: из них 1 скважина пробурена на пласт, 12 скважин переведены из добывающих и 1 скважина переведена с другого объекта разработки.

По состоянию на 01.01.2026 г. на объекте числятся:

- 32 добывающие скважины: в т.ч. 9 – действующих, 1 – бездействующая, 4 – в консервации, 4 – переведены на другие объекты разработки, 1 – переведена в пьезометрические, 1 – в ожидании ликвидации, 12 – переведены под закачку;
- 14 нагнетательных скважин: в т.ч. 12 переведены из добывающих (из них 3 – под закачкой, 8 – в консервации, 1 – переведена на другой объект), 2 – ликвидированы.

Начальный дебит нефти в скважинах изменялся от 1,2 тонн/сут. до 112 тонн/сут., составляя в среднем 23 тонн/сут.

Накопленная добыча нефти на одну эксплуатационную скважину составляет в среднем 54,1 тыс. тонн. Фактические накопленные отборы нефти на одну скважину изменяются от 1,8 тыс. тонн до 196,5 тыс. тонн.

Распределение скважин по накопленной добыче нефти, начальным дебитам нефти и начальной обводнённости приведено на рисунках 1–3.

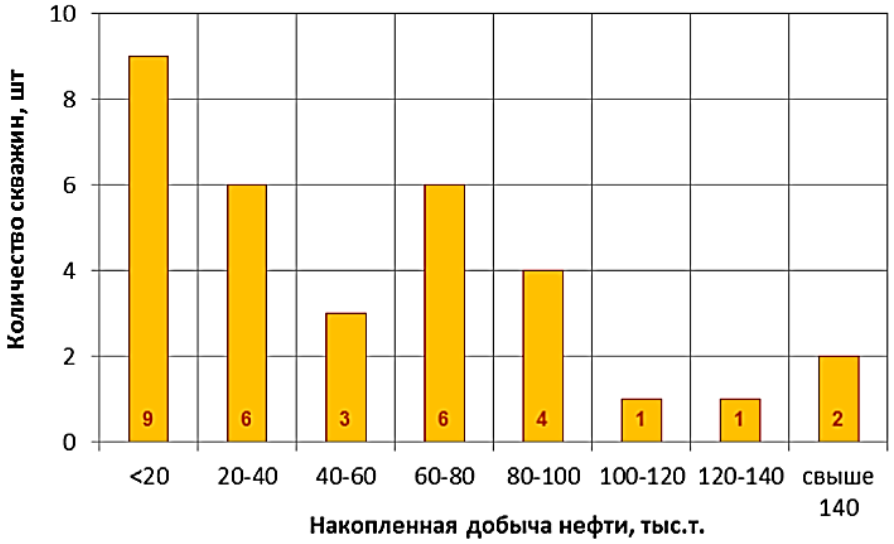

Рисунок 1 – Распределение скважин
по накопленной добыче нефти пласта K_2m

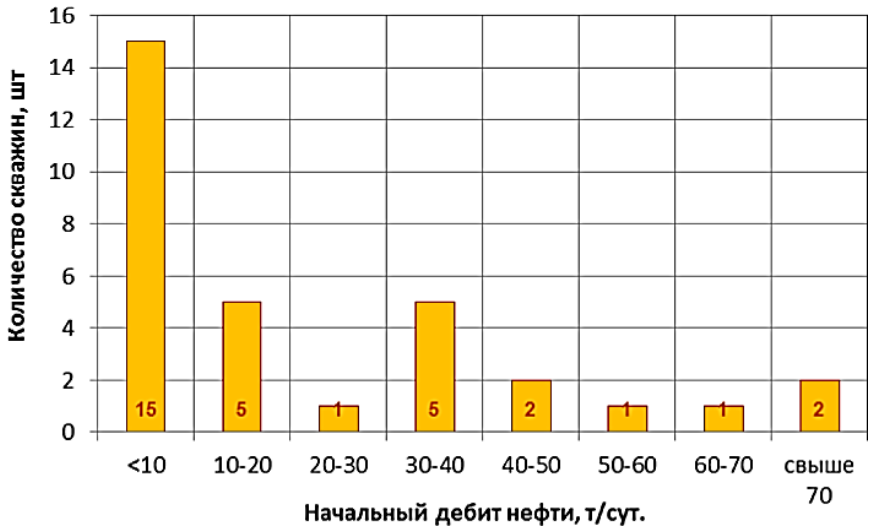

Рисунок 2 – Распределение скважин
по начальным дебитам нефти пласта K_2m

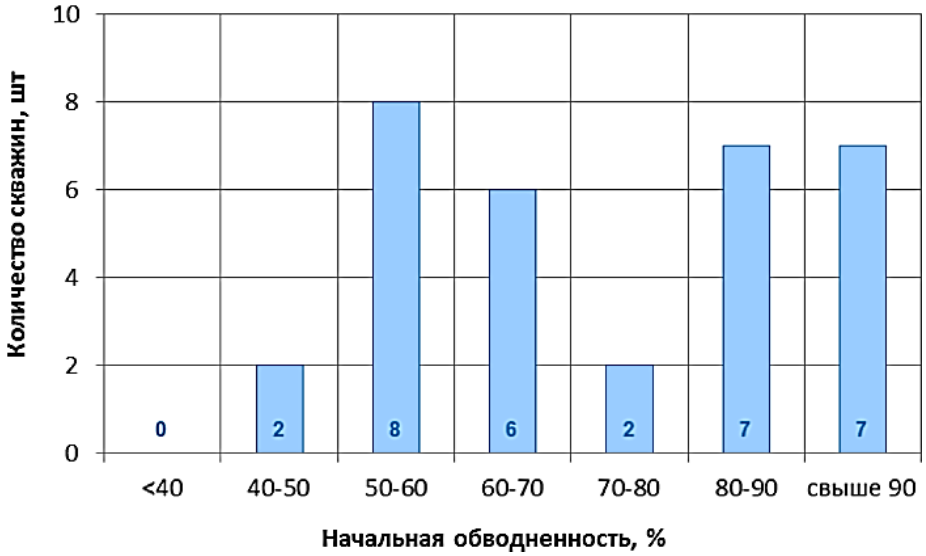

Рисунок 3 – Распределение скважин
по начальной обводнённости пласта K_2m

Сетка скважин, пребывавших в эксплуатации, составляет 84,6 га/скв.

Максимальный уровень добычи нефти достигнут в 1990 году и составлял 182,3 тыс. тонн (или 8 % от начальных извлекаемых запасов). Действующий фонд добывающих скважин в этот год был 26, средний дебит нефти – 24,4 тонн/сут., по жидкости – 85,4 тонн/сут., обводнённость продукции – 71,4 %. В последующие годы добыча нефти снижалась и к 2001 году составила 8,8 тыс. тонн. Снижение годовой добычи нефти связано со снижением дебитов жидкости, а, следовательно, и дебитов нефти при незначительном увеличении обводнённости продукции. Скважины в этот период эксплуатировались фонтанным способом. В 2001 году средний дебит по жидкости составлял 4,9 тонн/сут., по нефти – 1 тонн/сут., обводнённость – 79,8 %. В эксплуатации находилось 26 добывающих скважин. Начиная с 2002 года, скважины стали переводить на газлифтный способ эксплуатации, а в конце нулевых годов – на ЭЦН, что привело к увеличению годовых отборов нефти за счёт увеличения среднегодового дебита по нефти. В конце нулевых годовая добыча нефти по месторождению находилась в диапазоне 30–40 тыс. тонн, средний дебит нефти – в диапазоне 7–8 тонн/сут. Дебит по жидкости увеличивался от года к году за счёт применения методов интенсификации добычи нефти, и, начиная с 2017 года, находится в интервале 160–180 тонн/сут. Обводнённость продукции выросла до 97 %. Начиная с 2022 года, наметилось снижение годовой добычи нефти из-за снижения дебита по нефти.

По состоянию на 01.01.2026 г. накопленная добыча нефти составила 1744,9 тыс. тонн, жидкости – 15063,3 тыс. тонн. Текущий КИН равен 0,341. Накопленный ВНФ – 7,6. В 2025 году залежь разрабатывалась 9 добывающими скважинами. Годовая добыча нефти составила 12,8 тыс. тонн, жидкости – 547,7 тыс. тонн. Текущий средний дебит по нефти – 4,3 тонн/сут., по жидкости – 183,1 тонн/сут., обводнённость – 97,7 %. Текущий ВНФ – 41,8. Темп отбора нефти от начальных извлекаемых запасов – 0,6 %.

Залежь разрабатывается с поддержанием пластового давления. Закачка воды в пласт с целью поддержания пластового давления начата в 1992 году, когда пластовое давление в залежи снизилось с 29,4 МПа до 24,2 МПа. В 1993 году пластовое давление достигло минимального значения 23,6 МПа, а в 1994 возросло и стабилизировалось на уровне 24–25 МПа. В конце нулевых годов с увеличением отборов жидкости пластовое давление снизилось на 1–2 МПа до 22–23 МПа. Для нагнетания воды в пласт сначала использовались 3 скважины (№ 14, 79 и 103). При этом весь объём закачиваемой воды приходился на северо-восточную и восточную части залежи. В 1996 году дополнительно из добывающего фонда переведены под нагнетание ещё 2 скважины (№ 8 и 16), расположенные в западной части залежи, а с 2010 по 2022 гг.

ещё 9 скважин, расположенные в центральной, юго-восточной и восточной частях залежи. Всего в нагнетательном фонде перебывало 14 скважин. Системы заводнения – приконтурная и внутриконтурная. В 1991 году объём нагнетаемой воды в пласт составлял 245 тыс. м^3, а к 1997 году постепенно снизился до 58,6 тыс. м^3. В 1998 году нагнетание воды приостановлено. В 2008 году с увеличением отборов жидкости закачка воды возобновлена. Максимальный объём закачки воды – 741,7 тыс. м^3 достигнут в 2015 году. Средняя приёмистость одной нагнетательной скважины при этом составляла 437,8 м^3/сут., в нагнетании находилось 6 скважин.

По состоянию на 01.01.2026 г. в залежь закачано 8375,4 тыс. м^3 воды. Накопленный коэффициент компенсации отборов жидкости закачкой составил 53,1 %. В 2025 году в пласт закачано 515,6 тыс. м^3 воды. Закачка воды производилась в 3 нагнетательные скважины. Текущий коэффициент компенсации отборов жидкости закачкой составил 93,3 %. Средняя приёмистость одной нагнетательной скважины – 521 м^3/сут.

Режим залежи – упруговодонапорный.

Верхнемеловые залежи являются водонефтяными, т.е. нефть и вода находятся в фазово-подвижном состоянии по всему объёму залежи, заполняя сложный коллектор, и скважины вступают в разработку с высокой обводнённостью.

Установлены основные особенности водонефтяных залежей, которые сводятся к следующему:

1) основные залежи нефти приурочены к верхней части верхнемеловых отложений, а именно к мелоподобным известнякам и реже – плотным пелитоморфным, подстилающим первые, известнякам верхнего мела;

2) тип коллектора трещинно-каверновый (по отношению к характеру насыщенности), при высокой пористости 20–30 % матрицы и её низкой проницаемости ($(0,1–1,2) \cdot 10^{-3}$ мкм^2). Насыщение связано с вторичными пустотами и трещинами (коллекторские свойства пород обусловлены тектонической трещиноватостью). Поровое пространство матрицы нефти не содержит и полностью водонасыщено;

3) залежи нефти не контролируются сводами современных структур и часто располагаются на их периклиналях;

4) зоны развития коллекторов приурочены к зонам повышенной трещиноватости пород;

5) зоны повышенной пористости и проницаемости связаны с перерывами в осадконакоплении – это контактные зоны палеогена и верхнего мела, верхнего и нижнего маастрихта, маастрихта и кампана и сантона, на уровне которых чётко фиксируются стратиграфические несогласия;

6) общие толщины верхнемеловых отложений изменяются от 60 м до 90 м;

7) наклонные ВНК с перепадом глубин от нескольких метров у залежей на платформе, до нескольких сотен метров в пределах складчатой области. Это явление во многих случаях может быть связано с «запечатыванием» залежей в среднесарматское время;

8) все открытые залежи нефти и газа вступают в разработку с обводнённостью от 30 до 95 %.

Таким образом, уникальность нефтеносности верхнемаастрихтских отложений заключается не только в том, что с ними связаны нетрадиционные водонефтяные залежи и что они почти идеально выдержаны по литологическому составу, толщине и свойствам своеобразного коллектора, но ещё и в том, что они представляют собой гигантскую стратиграфически экранированную ловушку, содержащую недосформировавшуюся нефтяную залежь со сложным характером насыщения водой и нефтью, ограниченную с запада и севера зоной размыва отложений и экранирующуюся мергельно-глинистыми отложениями палеогена и гидродинамической аномалией подземных вод, осложнённую пологими структурными элементами различной формы и размера.

Карты текущих и накопленных отборов по объекту K_2m приведены на рисунках 4 и 5.

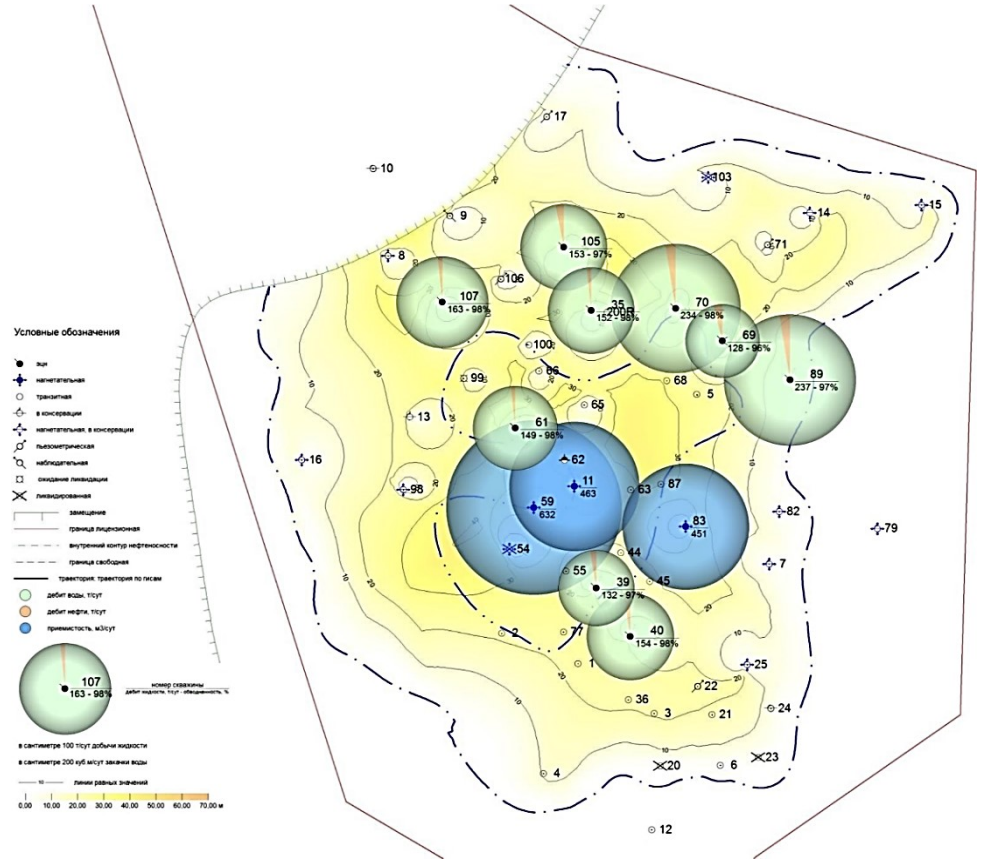

Рисунок 4 – Карта текущих отборов по объекту K_2m по состоянию на 01.01.2026 г.

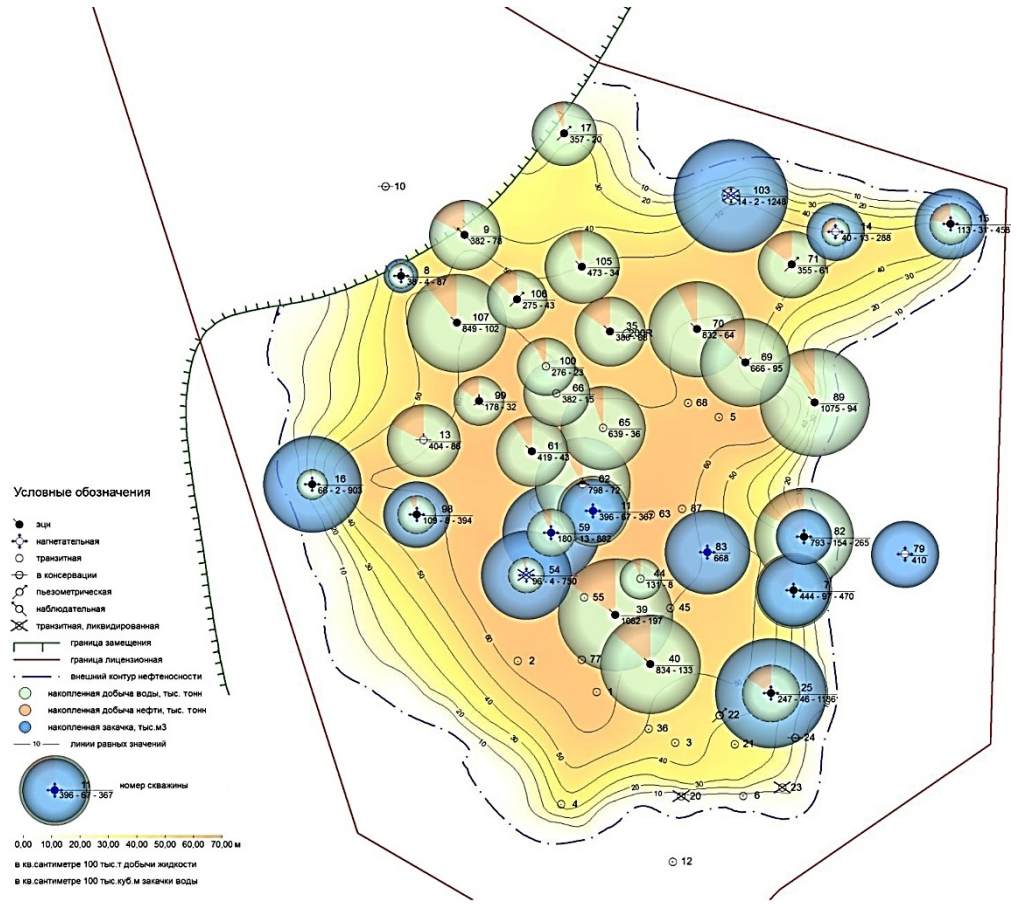

Рисунок 5 – Карта накопленных отборов по объекту K_2m по состоянию на 01.01.2026 г.

Также с точки зрения разработки определение значений фильтрационно-емкостных параметров верхнемеловых коллекторов сопряжено с большими трудностями:

1) по керну вторичная пустотность, проницаемость и нефтенасыщенность редко определимы в связи с дефицитом представленных образцов;

2) по данным промыслово-геофизических исследований с относительной достоверностью определяется только вторичная пустотность, а нефтенасыщенность не оценивается;

3) также существенные проблемы имеют место и при оценке нефтенасыщенных толщин в залежах, связанных с карбонатными трещинно-каверновыми коллекторами.

Цифровая геологическая модель месторождения

В целях решения практических задач по дальнейшей оптимизации разработки Тихомировского месторождения, определения числа и расположения разведочных, добывающих и нагнетательных скважин выполнено трёхмерное геологическое моделирование верхнемеловых, нижнемеловых и нижнеюрского объектов эксплуатации в программном продукте Petrel фирмы «Schlumberger».

Следует отметить, что моделирование верхнемеловых отложений и основного объекта изучения K2m не представляется возможным. Построенные геологические модели не отвечают реальному геологическому строению маастрихстких отложений.

Маастрихтский продуктивный пласт по составу и геофизической характеристике представляет собой пачку мелоподобных известняков, имеет повсеместное распространение по площади, отличается высокой выдержанностью общих и эффективных толщин. Общая толщина пласта изменяется в пределах 60–90 м, эффективная толщина в пределах 40–70 м.

Исторической особенностью изучения этих отложений в период с начала 70-х годов является крайне низкая освещённость керном и полным комплексом ГИС – менее 10 % скважин. При этом весь комплекс исследований был рассчитан на терригенный коллектор: нет 100 % выноса керна ни по одному интервалу (в среднем вынос керна не превышает 20 %), комплекс ГИС не содержит специальных методов для выделения и определения параметров карбонатного коллектора. Имеющиеся определения кернового материала указывают на флишевую формацию, представленную чередованием тонкослоистых (толщина не превышает первых десятков сантиметров) пропластков известняков, глин и в меньшей степени мергелей.

Имеющийся фактический материал (керн + ГИС) не позволяет определить основные параметры геологической модели: литологию (в т.ч. коллектор/неколлектор), пористость, нефтенасыщенность, проницаемость. Начальная нефтенасыщенность верхнемеловых пластов имеет очень низкие значения 0,15–0,31. Водонефтяной контакт определён только по материалам опробования скважин и, в связи с этим часто имеет чашеобразную форму с амплитудой прогиба до 100 м. Нет достоверного объяснения высокой начальной обводнённости скважин 70–95 % вне зависимости от размера интервала перфорации и положения скважин на структуре.

Наиболее правдоподобным можно считать концепцию строения залежей, представляющую собой чередование тонких пропластков, насыщенных водой и нефтью. Однако для подтверждения данной модели необходимы детальные исследования с привлечением кернового материала с выносом, близким к 100 %.

Создание адекватной гидродинамической модели без учёта данной особенности геологического строения не представляется возможным. Кроме того, модель, учитывающая неоднородность в распределении насыщенностей, должна иметь высокое разрешение по вертикали (DZ порядка 2 см).

В связи с этим гидродинамические модели месторождению по всем объектам были построены, но как показал анализ полученных результатов по верхнемеловым отложениям – адекватная гидродинамическая модель отсутствует.

Обоснование объёмных сеток и параметров модели объекта K_2m

Цифровая модель продуктивного пласта реализована в программном комплексе Petrel.

Моделирование продуктивного резервуара происходило поэтапно и заключалось в выполнении следующих видов работ:

- построение структурно-тектонического каркаса;
- создание фациальной модели;
- фильтрационно-емкостное моделирование.

В основе структурной модели лежат точки скважинных пластопересечений и оцифрованные изолинии структурных карт, полученные на этапе подготовки исходных данных. С помощью алгоритмов двумерной интерполяции построены структурные поверхности по кровле пласта. Структурные поверхности по подошве пласта строились методом прибавления изохор, полученных по скважинным отметкам. Дополнительно для подсчёта запасов построены поверхности ВНК.

Для последующей трёхмерной интерполяции параметров в межскважинном пространстве скважинные данные перенесены на ячейки дискретных сеток. Каждой ячейке сетки, которую пересекают скважины, присваивался определённый тип пород (коллектор – неколлектор), фильтрационно-емкостные свойства и насыщение.

Исходные данные для построения геологической модели объекта K_2m приведены в таблице 3, параметры модели – в таблице 4.

Таблица 3 – Исходные данные для построения геологической модели объекта K_2m

№ n/n	Данные по скважинам	Объект K_2m
1	Количество скважин (вскрывших пласт / загруженных в проект)	50/66
2	Количество скважин с инклинометрией	все
3	Количество скважин с загруженным комплексом ГИС	
4	Результаты интерпретации, загруженные в проект литология пористость насыщение насыщенность проницаемость	 Lito Kp Rn
5	Загруженные в проект маркеры по скважинам маркер отражающего горизонта (ОГ) маркер кровли пласта маркер подошвы пласта	 Top_K_2 Bot_K_2

Таблица 4 – Параметры модели объекта K_2m

Размеры модели, км × км	1,8 × 2,7
Размеры сетки (по горизонтали × по вертикали)	50 × 50
Средняя мощность прослоя, м	0,5
Размеры сетки разбуривания скважин, м	500 × 500
Количество ячеек: X Y Z общее	 250 225 148 8325000

Геологическая модель объекта K_2m строилась по сетке 50 × 50 м при детальности геологических построений по вертикали 148 слоёв.

Размеры горизонтальных и вертикальных проекций выбраны с учётом общих размеров залежей по осям X, Y, Z и расстояний между скважинами, а также возможности дальнейших технико-гидродинамических расчётов.

Построение структурной модели объекта K_2m

Структурно-тектонический каркас строился путём объединения структурных поверхностей по кровлям и подошвам моделируемого объекта.

Моделирование структурных поверхностей проводилось с использованием скважинных отбивок. При построении структурных поверхностей использовалась сетка 50 × 50 м.

Скважинными разбивками являются границы смены стратиграфических и литологических комплексов. Структурные поверхности кровли и подошвы объекта K_2m построены на основе кровли и подошвы пласта, полученных в результате корреляции и с использованием сейсмических данных.

Объектом геологического моделирования является объект K_2m Тихомировского месторождения.

Нефтяная залежь продуктивного пласта K_2m (основная)

Коллектор относится к трещинному, поровому типу, представленному известняками белыми, крепкими, трещиноватыми с прослоями белого писчего мела, с пропластками плотных микрозернистых известняков и карбонатных аргиллитов. Общая толщина пласта изменяется в пределах 60,7–120,4 м (среднее значение 71,3 м), эффективная толщина составляет 3,4–118,3 м (среднее значение 66,4 м). Пласт отличается низкой песчанистостью (коэффициент песчанистости 0,91) и слабой расчленённостью (коэффициент расчленённости 2,7).

Размеры залежи – 6,4 × 5,9 км, высота 63,0 м. Нефтенасыщенные толщины изменяются от 19,9 до 66,0 м.

Водонефтяной контакт наклонный, принят в интервале на абсолютных отметках минус 2468–2475 м. На северо-западе площадь нефтеносности ограничена линией неколлектора.

Нефтяная залежь продуктивного пласта K_2m (Восточно-Тихомировская площадь)

От основной залежи она отделена прогибом, что не позволяет объединить её с залежью маастрихтских отложений верхнего мела.

Размеры залежи – 2,5 × 1,7 км, высота 45,0 м. Эффективная нефтенасыщенная толщина составляет 19,7 м.

Залежь относится к пластово-сводовой, подстилаемой по всей поверхности подошвенной водой. Согласно структурному плану, контур нефтеносности соответствует изогипсе минус 2460 м. За границу раздела «нефть – вода» принята отметка нижних дыр перфорации скважины № 1 2575 м (– 2506 м).

Структурная поверхность кровли коллектора продуктивного пласта K_2m Тихомировского месторождения приведена на рисунке 6.

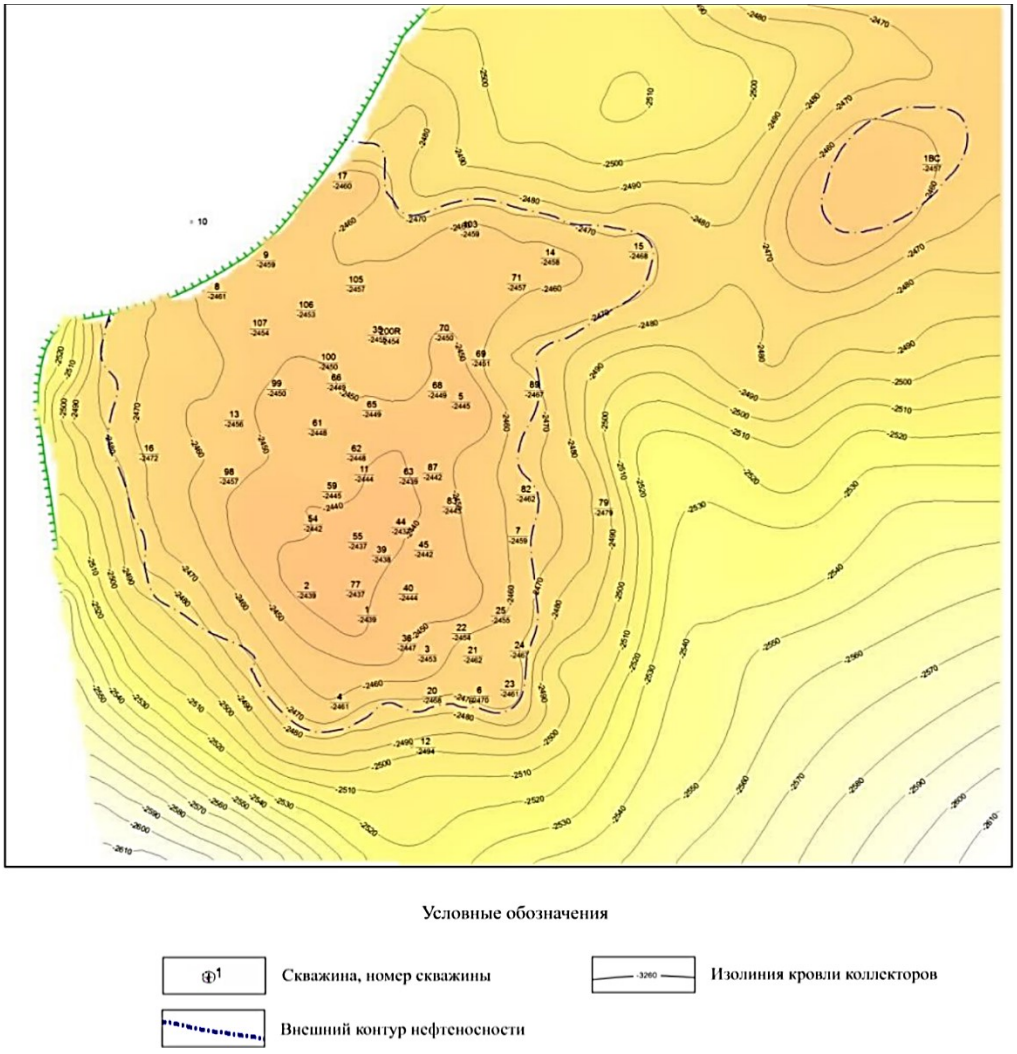

Рисунок 6 – Структурная поверхность кровли коллектора продуктивного пласта K_2m

Построение литологической модели залежи K_2m и распределение фильтрационно-емкостных свойств

Геологическая модель эксплуатационного объекта K_2m создавалась поэтапно.

Этап литологического моделирования заключался в выделении и пространственном распределении пород-коллекторов, т.е. пространственной литологической интерпретации на основании комплекса геофизических методов, результатов интерпретации ГИС и граничных значений фильтрационно-емкостных параметров. Результатом являлось построение дискретных индексированных кубов признака «коллектор – неколлектор», условно называемых кубами литологии. При построении кубов использовался алгоритм стохастического моделирования с применением сферической (или экспоненциальной) вариограмм и трендов (2D, 3D и т.д.) и согласованием полученного распределения пород со скважинными данными. Каждой ячейке дискретной сетки куба присваивалось значение 1 – коллектор или 0 – неколлектор.

Для продуктивных пластов использовался алгоритм стохастического моделирования с применением сферической вариограммы (табл. 5). Выбранный метод моделирования – Sequential indicator Simulation. При пространственном распределении продуктивного пласта создавались наборы равновозможных реализаций моделей (от 5 до 20).

Таблица 5 – Параметры вариограмм для построения кубов литологии объекта K_2m

Литотип	Направление	Радиус корреляции	Угол	Тип	Nugget
Литотип 1	главное	1701	0	Spherical	0,01
	второстепенное	1200			
	вертикальное	6,1			
Литотип 0	Assign Values: constant = 0				

Для наиболее корректного построения куба литологии (соответствия статистических данных куба скважинным данным) радиусы корреляции подобраны индивидуально для объекта K_2m. Для контроля распространения эффективных толщин по площади построены карты песчанистости, которые использованы как тренды для построения куба литологии.

Для подсчёта запасов коэффициент пористости рассчитывался как средневзвешенная величина по объёму коллектора продуктивных отложений объекта K_2m.

По результатам геологического моделирования для объекта $_{K2m}$ построены наборы карт и геологических разрезов в соответствии с «Методическими рекомендациями по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений».

На рисунке 7 приведён разрез пород объекта K_2m, характеризующий распространение водо- и нефтенасыщенных коллекторов, а на рисунке 8 – карта эффективных нефтенасыщенных толщин объекта K_2m по геологической модели.

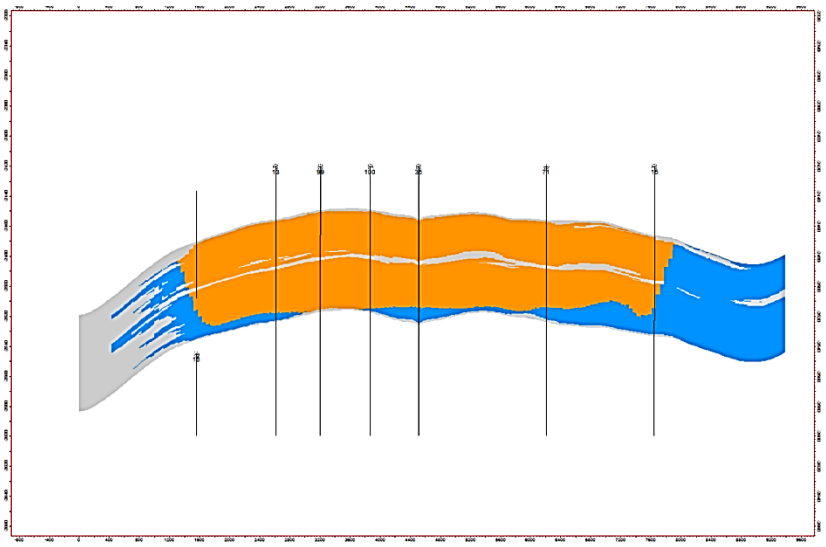

Рисунок 7 – Разрез пород объекта K_2m, характеризующий распространение водо- и нефтенасыщенных коллекторов

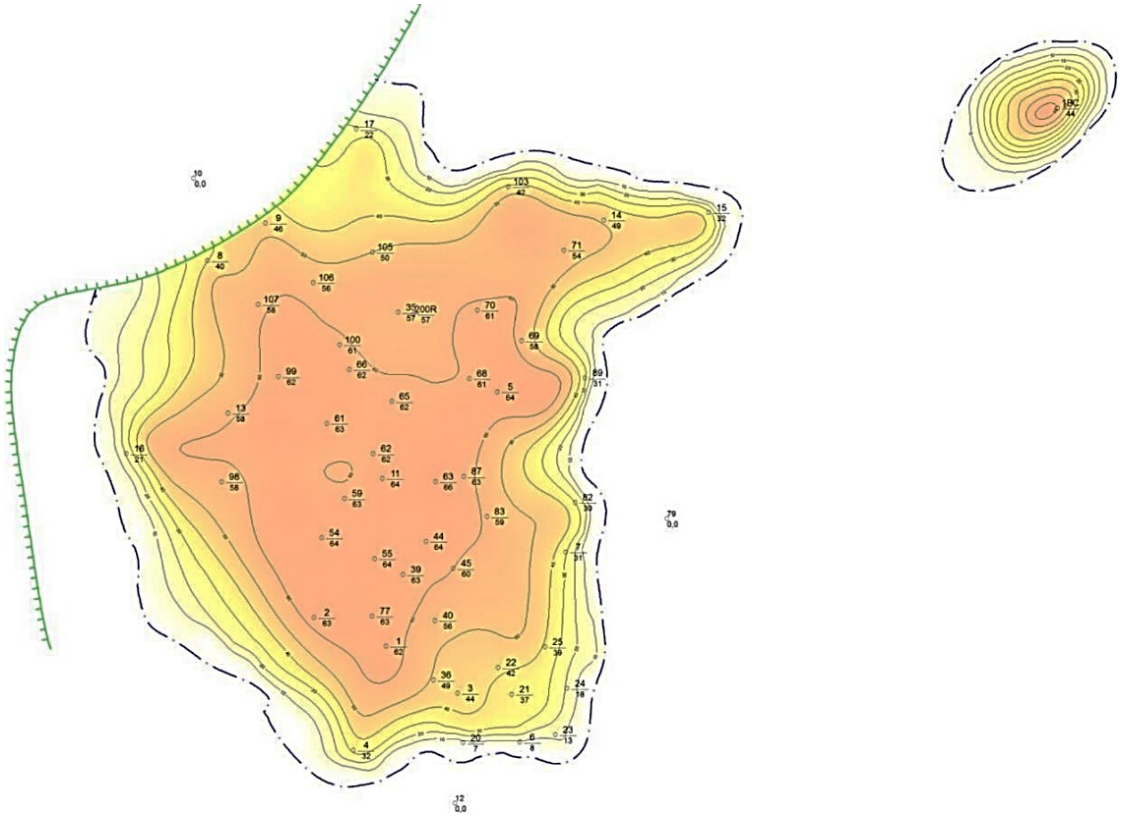

Рисунок 8 – Карта эффективных нефтенасыщенных толщин объекта K_2m по геологической модели

Построение модели насыщения пласта флюидами

Моделирование газо- и нефтенасыщения пластов-коллекторов объекта K_2m проведено на базе интерпретации материалов промысловой геофизики. Так как с точки зрения дальнейшего гидродинамического моделирования более корректным для построения куба насыщенности является использование J-функции, в моделях Кн рассчитывался именно по функции Леверетта как средневзвешенное по газо- и нефтенасыщенному объёму, равное средневзвешенному значению, полученному по ГИС. В связи с тем, что при построении геологической модели куб проницаемости был получен через пористость, то корректнее использовать модель переходной зоны, а использование J-функции, естественно, предполагает модель переходной зоны, что и было сделано в модели.

Расчёт полей параметров проводился в пределах структурного каркаса на основе данных интерпретации ГИС по скважинам, представленным в виде кривой послойной обработки, и в интервале продуктивных отложений.

Расчёт проводился в пределах структурного каркаса в интервале продуктивных отложений. Распределение скважин по эксплуатационному объекту позволило рассчитать средневзвешенное по нефтенасыщенному объёму значение коэффициента нефтенасыщенности.

Подсчёт геологических запасов нефти

Подсчёт запасов нефти осуществлён в программном модуле Petrel 2009 Volume Calculation, с помощью которого рассчитаны следующие параметры: геометрический, эффективный и поровый объёмы. Расчёты выполнены отдельно по каждому эксплуатационному объекту Тихомировского месторождения. Расхождение подсчётных параметров и запасов нефти и газа в геологической модели по сравнению с числящимися на госбалансе не превышает 5 %.

Оценка достоверности модели объекта K_2m

Оценка достоверности геологической модели объекта K_2m проводилась на каждом этапе моделирования.

На этапе структурно-тектонического моделирования выполнялось сопоставление абсолютных отметок структурных карт по кровлям соответствующего пласта из модели и абсолютных отметок по кровле пласта. Расхождение по поверхностям не превышает 5 %.

Использование нейросетевого моделирования

В нашем быстро развивающемся обществе всё с большей остротой проявляется интерес к качественному прогнозированию. Это в большей степени связано с быстрым развитием высоких технологий и с появлением новых инструментов анализа данных. Однако тот технический анализ, которым привыкло пользоваться большинство компаний, недостаточно эффективен. Прогнозы, которые делаются только на основе какого-либо одного исследования, не всегда дают ощутимый результат, т.к. достоверность довольно низкая.

Для решения проблемы по выявлению низкообводнённых интервалов верхнемеловых отложений нами использовано нейросетевое моделирование, которое позволяет предложить интервалы перфорации в уже существующих скважинах для получения притоков нефти.

Нейросеть моделирует работу человеческой нервной системы, особенностью которой является способность к самообучению с учётом предыдущего опыта. Таким образом, с каждым разом система совершает всё меньше ошибок. Как и наша нервная система, нейросеть состоит из отдельных вычислительных элементов – нейронов, расположенных на нескольких слоях. Данные, поступающие на вход нейросети, проходят последовательную обработку на каждом слое сети. При этом каждый нейрон имеет определённые параметры, которые могут изменяться в зависимости от полученных результатов – в этом и заключается обучение сети.

Нейронная сеть состоит из совокупности нейронов, соединённых между собой специальным образом. Величины x_1, x_2, …, xn являются известными входными переменными, w_1, w_2, …, w_n весовые коэффициенты, Y – рассчитанное значение. Процесс обучения нейросети на известных данных заключается в подборе весовых коэффициентов w_1, w_2, …, $_w$n таким образом, чтобы рассчитанное значение прогнозируемого параметра Y совпало с фактическим значением некоторой заранее заданной погрешностью. На рисунке 9 приведена базовая структура нейронной сети.

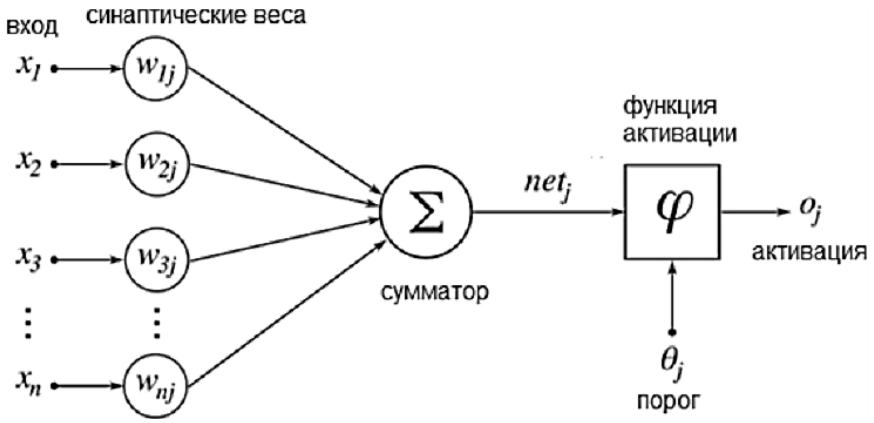

Рисунок 9 – Базовая структура нейронной сети

Нами предложена методика по выявлению низкообводнённых интервалов перфорации на верхнемеловых отложениях. Для составления обучающей выборки проанализирован массив информации по опробованию скважин интервалов перфорации, обводнённости, а также многочисленные каротажные исследования. Проведено моделирование на Тихомировском месторождении, на котором в период с 1985 по 2022 гг. по более чем 30 скважинам проведён анализ.

На первом этапе собрана и проанализирована информация по скважинам, работающим на верхнемеловых отложениях: характеристика коллектора, свойства залежи, определения возможных источников обводнения добывающего фонда, каротажные исследования по каждой скважине в соответствующем интервале перфорации. Из дальнейшего рассмотрения исключены те случаи, в которых по части скважин отсутствовала информация. На втором этапе произведена обработка данных, необходимых

для обучения искусственной нейронной сети. В качестве входных параметров для нейросети использованы интервалы перфорации обводнённости, процент обводнённости, ГИС.

При систематизации и унифицировании собранных данных на выходе получили параметр возможного интервала перфорации, который может служить и поддерживать этап разработки соответствующего тематического исследования.

Процесс обучения сети производится в несколько шагов:

1) сбор исходной информации для обучения;
2) обработка данных (нормализация);
3) выбор типа задачи и инструмента построения сети;
4) задание сетевых характеристик и параметров обучения;
5) непосредственно обучение;
6) проверка обучения на адекватность;
7) дообучение или переобучение сети;
8) прикладное применение полученных моделей.

Часть входных данных использовалась для обучения, а другая часть использовалась для первичной проверки модели. Затем из множества моделей выбрана одна с наименьшим отклонением расчётных показателей от фактических. Результаты применения нейросетевой модели приведены на рисунке 10, плотность распределения ошибки отклонения модельных показателей от фактических – на рисунке 11.

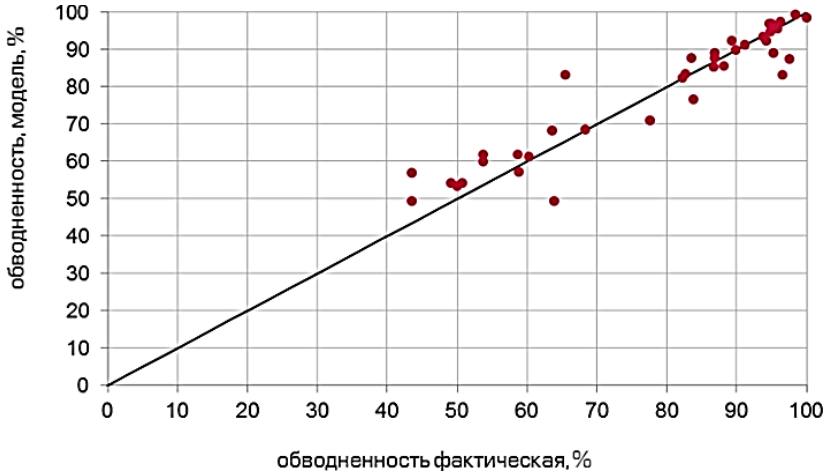

Рисунок 10 – Результаты применения нейросетевой модели

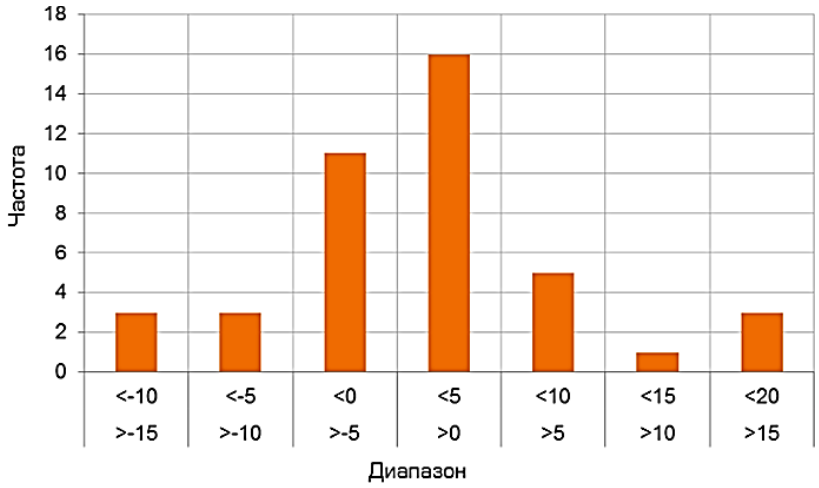

Рисунок 11 – Плотность распределения ошибки отклонения модельных показателей от фактических

Анализируя фактические данные с данными, полученными по разработанной модели, можно отметить, что отклонение составляет 7 %, что свидетельствует о достоверности модели. После чего проведён ретроспективный анализ с целью проверки, настроенной нами модели.

Для примера по скважине № 101 по модели средняя обводнённость составила 80 % при фактической обводнённости 75 %. Проведённый анализ подтвердил достоверность модели и пригодность её для рекомендации скважин под перфорацию (рис. 12).

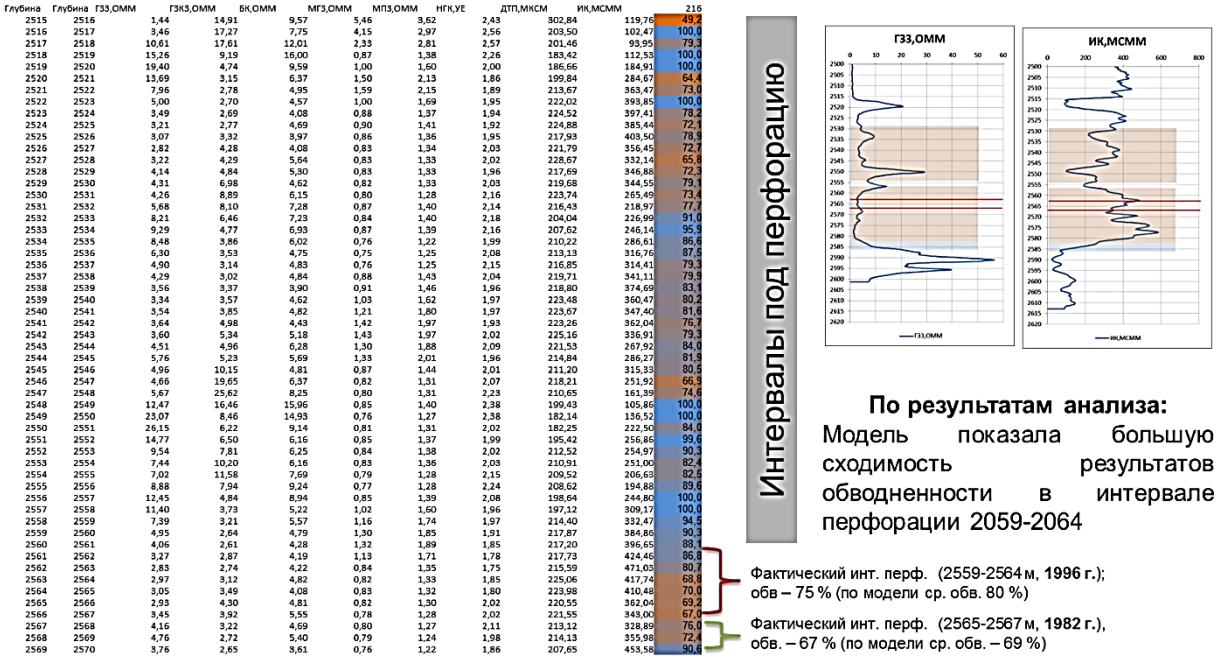

Рисунок 12 – Ретроспективный анализ с помощью применения нейронных сетей

Затем, используя полученную модель, сформированы перспективные интервалы перфорации с наименьшей обводнённостью, которые можно рекомендовать для перфорирования.

В целях оптимизации существующей системы разработки с использованием искусственной нейронной сети рассмотрено проведение различных ГТМ по существующему фонду на верхнемеловых отложениях, а именно перфорирование перспективных интервалов путём перевода на выше- и нижележащий горизонт, а также расконсервации.

Используя расчёты, полученные с помощью искусственной нейронной сети, рекомендуем новые интервалы перфорации по скважинам № 107 (табл. 6), № 69 (табл. 7) и № 55 (табл. 8).

Таблица 6 – Рекомендуемые интервалы под перфорацию скважины № 107

Глубина	Глубина	ГЗ3,ОММ	ГЗК3,ОММ	БК,ОММ	МГЗ,ОММ	МПЗ,ОММ	ШГК,УЕ	ДТП,МКСМ	ИК,МСММ	Обводненность по модели
2505	2506	12,47	13,55	15,43	1,32	1,73	2,47	191,76	121,95	100,0
2506	2507	6,46	18,25	8,17	1,26	1,67	2,09	194,04	166,23	74,9
2507	2508	3,98	15,92	6,58	1,18	1,61	1,97	207,00	242,17	64,9
2508	2509	2,93	10,03	5,26	1,06	1,47	1,81	221,30	355,04	60,6
2509	2510	2,68	6,21	4,54	1,17	1,57	1,74	225,60	404,48	62,2
2510	2511	2,65	4,29	4,23	1,26	1,61	1,73	226,78	415,42	64,2
2511	2512	2,79	3,08	4,04	1,35	1,68	1,73	230,42	402,68	65,2
2512	2513	2,85	2,99	4,19	1,65	2,01	1,77	227,85	412,49	67,3
2513	2514	3,54	2,80	3,72	1,88	2,24	1,77	228,83	425,07	56,9
2514	2515	3,99	2,83	4,40	1,95	2,33	1,81	229,96	381,32	58,8
2515	2516	3,78	3,30	4,98	1,59	2,05	1,88	225,99	365,19	76,0
2516	2517	4,60	3,95	4,70	1,27	1,62	1,87	223,32	378,58	77,3
2517	2518	8,59	3,50	4,16	1,20	1,58	1,83	222,22	360,12	85,5
2518	2519	10,51	3,86	6,22	1,11	1,47	1,94	228,73	294,77	92,9
2519	2520	7,72	6,34	8,27	1,10	1,47	2,07	213,43	252,74	87,0
2520	2521	5,87	10,06	7,64	1,18	1,58	2,08	209,05	263,36	81,2
2521	2522	5,54	9,01	6,01	1,40	1,81	2,05	211,48	297,48	78,7
2522	2523	5,67	7,10	5,67	1,53	1,94	2,03	215,89	337,34	77,4
2523	2524	5,76	5,86	5,64	1,80	2,20	2,02	219,20	370,71	68,2
2524	2525	5,99	5,94	5,97	1,95	2,31	1,97	217,44	399,94	58,9

Как видно из таблицы 6, интервалы с наименьшей обводнённостью рекомендуются к перфорации:

– интервал 1 – 2506-2514 м;
– интервал 2 – 2522-2526 м.

Таблица 7 – Рекомендуемые интервалы под перфорацию скважины № 69

Глубина, м		ГЗ3,ОММ	ГЗК3,ОММ	БК,ОММ	МГЗ,ОММ	МПЗ,ОММ	НГК,УЕ	ДТП,МКСМ	ИК,МСММ	Обводненность по модеи	Средняя обводненность по модели
2528	2529	9,16	7,56	6,42	1,17	1,55	1,92	221,45	376,29	76,6	
2529	2530	9,88	7,13	6,48	1,05	1,42	1,89	222,94	353,05	79,7	
2530	2531	7,51	8,12	7,89	1,25	1,57	1,99	221,04	326,66	81,1	
2531	2532	5,95	9,68	7,43	1,52	1,89	2	215,85	353,29	71,4	
2532	2533	7,48	7,91	5,73	1,45	1,89	1,88	216,86	341,69	62,7	**67,1**
2533	2534	12,28	6,29	5,99	1,43	1,84	1,95	225,52	281,81	62,7	
2534	2535	18,48	5,5	5,63	1,29	1,64	2,12	213,82	220,92	71,4	
2535	2536	11,83	9	11,45	1,17	1,51	2,19	208,87	182,32	100	
2536	2537	6,56	15,97	11,46	1,19	1,52	2,22	195,94	225,56	88,6	
2537	2538	4,56	16,42	7,93	1,22	1,57	2,12	196,71	307,89	75,8	
2538	2539	4,87	8,92	5,4	1,17	1,51	1,94	212,26	346,71	73,3	
2539	2540	5,96	5,51	5,31	1,15	1,51	1,95	219,51	368,9	82,1	
2540	2541	8,43	4,79	5,31	1,21	1,59	1,96	223,29	339,07	87,7	
2541	2542	8,85	5,3	6,81	1,14	1,58	2,06	222,28	287,81	93	
2542	2543	5,95	6,78	7,63	1,13	1,45	2,13	211,79	266,82	82,6	
2543	2544	3,79	9,73	7,8	1,24	1,63	2,15	205,93	308,64	79,2	
2544	2545	2,98	7,48	4,52	1,63	2,03	1,96	211,03	387,69	68,9	
2545	2546	3,01	5,06	4,93	2,78	2,87	1,88	228,27	424,61	49,2	**62,6**
2546	2547	2,93	3,55	4,08	1,71	2,16	1,87	222,2	482,64	69,8	
2547	2548	2,73	3,18	4,54	1,3	1,77	1,76	229,23	480,22	79,5	
2548	2549	2,51	3,09	4,59	1,21	1,63	1,75	226,55	494,7	78,4	
2549	2550	2,27	3,06	3,8	1,2	1,63	1,73	227,35	530,91	92,2	
2550	2551	2,82	2,67	4,15	1,13	1,55	1,73	235,89	500,43	82,5	
2551	2552	3,29	2,34	3,67	1,09	1,53	1,8	228,72	512,86	100	
2552	2553	4,06	2,28	4,93	1,09	1,5	1,8	231,83	452,62	79,1	
2553	2554	3,98	3,02	5,18	1,07	1,45	1,93	229	424,52	77,5	
2554	2555	4,09	3,42	4,65	1,13	1,52	1,93	220,44	409,36	82	
2555	2556	3,41	4,27	6,49	1,22	1,62	2	226,84	439,93	78	
2556	2557	3,13	4,2	4,07	1,62	2	1,85	214,83	522,87	73,8	
2557	2558	3,74	3,66	4,31	1,85	2,29	1,75	235,54	485,45	51,6	**67,2**
2558	2559	3,01	3,31	5,15	1,55	1,95	1,89	234,77	465,82	76,3	
2559	2560	2,09	3,72	4,98	1,47	1,81	1,85	222,85	555,96	81,7	
2560	2561	1,68	3,53	3,5	1,36	1,81	1,67	225,46	683,99	100	
2561	2562	1,98	2,33	3,16	1,23	1,63	1,62	243,77	671,28	100	
2562	2563	1,85	1,91	3,92	1,2	1,6	1,73	248,96	625,08	100	

Как видно из таблицы 7, интервалы с наименьшей обводнённостью рекомендуются к перфорации:

– интервал 1 – 2531–2535 м;
– интервал 2 – 2544–2547 м;
– интервал 3 – 2556–2559 м.

Как видно из таблицы 8, интервалы с наименьшей обводнённостью рекомендуются к перфорации:

– интервал 1 – 2524–2532 м;
– интервал 2 – 2536–2543 м;
– интервал 3 – 2562-2570 м.

Таблица 8 – Рекомендуемые интервалы под перфорацию скважины № 55

Глубина, м		ГЗЗ,ОММ	ГЗКЗ,ОММ	БК,ОММ	МГЗ,ОММ	МПЗ,ОММ	НГК,УЕ	ДТП,МКСМ	ИК,МСММ	Обводненность по модели	Средняя обводненность по модели
2522	2523	5	2,7	4,57	1	1,69	1,95	222,02	393,85	100	
2523	2524	3,49	2,69	4,08	0,88	1,37	1,94	224,52	397,41	78	
2524	2525	3,21	2,77	4,69	0,9	1,41	1,92	224,88	385,44	72	74
2525	2526	3,07	3,32	3,97	0,86	1,36	1,95	217,93	403,5	79	
2526	2527	2,82	4,28	4,08	0,83	1,34	2,03	221,79	356,45	73	
2527	2528	3,22	4,29	5,64	0,83	1,33	2,02	228,67	332,14	66	
2528	2529	4,14	4,84	5,3	0,83	1,33	1,96	217,69	346,88	72	
2529	2530	4,31	6,98	4,62	0,82	1,33	2,03	219,68	344,55	79	
2530	2531	4,26	8,89	6,15	0,8	1,28	2,16	223,74	265,49	73	
2531	2532	5,68	8,1	7,28	0,87	1,4	2,14	216,43	218,97	78	
2532	2533	8,21	6,46	7,23	0,84	1,4	2,18	204,04	226,99	91	
2533	2534	9,29	4,77	6,93	0,87	1,39	2,16	207,62	246,14	96	
2534	2535	8,48	3,86	6,02	0,76	1,22	1,99	210,22	286,61	87	
2535	2536	6,3	3,53	4,75	0,75	1,25	2,08	213,13	316,76	88	
2536	2537	4,9	3,14	4,83	0,76	1,25	2,15	216,85	314,41	79	80
2537	2538	4,29	3,02	4,84	0,88	1,43	2,04	219,71	341,11	80	
2538	2539	3,56	3,37	3,9	0,91	1,46	1,96	218,8	374,69	83	
2539	2540	3,34	3,57	4,62	1,03	1,62	1,97	223,48	360,47	80	
2540	2541	3,54	3,85	4,82	1,21	1,8	1,97	223,67	347,4	82	
2541	2542	3,64	4,98	4,43	1,42	1,97	1,93	223,26	362,04	77	
2542	2543	3,6	5,34	5,18	1,43	1,97	2,02	225,16	336,91	79	
2543	2544	4,51	4,96	6,28	1,3	1,88	2,09	221,53	267,92	84	
2544	2545	5,76	5,23	5,69	1,33	2,01	1,96	214,84	286,27	82	
2545	2546	4,96	10,15	4,81	0,87	1,44	2,01	211,2	315,33	81	
2546	2547	4,66	19,65	6,37	0,82	1,31	2,07	218,21	251,92	86	
2547	2548	5,67	25,62	8,25	0,8	1,31	2,23	210,65	161,39	84	
2548	2549	12,47	16,46	15,96	0,85	1,4	2,38	199,43	105,86	100	
2549	2550	23,07	8,46	14,93	0,76	1,27	2,38	182,14	136,52	100	
2550	2551	26,15	6,22	9,14	0,81	1,31	2,02	182,25	222,5	84	
2551	2552	14,77	6,5	6,16	0,85	1,37	1,99	195,42	256,86	100	
2552	2553	9,54	7,81	6,25	0,84	1,38	2,02	212,52	254,97	90	
2553	2554	7,44	10,2	6,16	0,83	1,36	2,03	210,91	251	82	
2554	2555	7,02	11,58	7,69	0,79	1,28	2,15	209,52	206,63	83	
2555	2556	8,88	7,94	9,24	0,77	1,28	2,24	208,62	194,88	90	
2556	2557	12,45	4,84	8,94	0,85	1,39	2,08	198,64	244,8	100	
2557	2558	11,4	3,73	5,22	1,02	1,6	1,96	197,12	309,17	100	
2558	2559	7,39	3,21	5,57	1,16	1,74	1,97	214,4	332,47	95	
2559	2560	4,95	2,64	4,79	1,3	1,85	1,91	217,87	384,86	90	
2560	2561	4,06	2,61	4,28	1,32	1,89	1,85	217,2	396,65	88	
2561	2562	3,27	2,87	4,19	1,13	1,71	1,78	217,73	424,46	87	
2562	2563	2,83	2,74	4,22	0,84	1,35	1,75	215,59	471,03	81	73
2563	2564	2,97	3,12	4,82	0,82	1,33	1,85	225,06	417,74	69	
2564	2565	3,05	3,49	4,08	0,83	1,32	1,8	223,98	410,48	70	
2565	2566	2,93	4,3	4,81	0,82	1,3	2,02	220,55	362,04	69	
2566	2567	3,45	3,92	5,55	0,78	1,28	2,02	221,55	343	67	
2567	2568	4,16	3,22	4,69	0,8	1,27	2,11	213,12	328,89	76	
2568	2569	4,76	2,72	5,4	0,79	1,24	1,98	214,13	355,98	72	
2569	2570	3,76	2,65	3,61	0,76	1,22	1,86	207,65	453,58	82	

Заключение

В статье приведены сведения о геологическом строении залежи и физико-химических свойствах пластовых флюидов, выполнен анализ текущей выработки запасов нефти Тихомировского месторождения и предложена методика по поиску перспективных интервалов перфорации верхнемеловых отложений с помощью нейросетевого моделирования.

Литература

1. 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.
2. Эффективность применения геолого-технических мероприятий при разработке месторождений / М.В. Муравлева [и др.] // Research. Engineering. Extreme. 2021: материалы Международной научно-практической конференции (03 июня 2021 года, г. Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2021. – С. 175–181.
3. Савенок О.В. Оценка перспектив доразработки залежей нефти и проведения геолого-технических мероприятий на скважинах по фактическим данным их эксплуатации / О.В. Савенок, Е.Н. Даценко, В.Н. Соловьёва // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 10. – С. 46–51. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-10-46-51
4. 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.
5. 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. – 116 с.
6. Скуба Д.А. Оценка реальной кавернозно-трещинной ёмкости известняков залежей нефти верхнемеловых отложений Чеченской Республики / Д.А. Скуба, О.В. Савенок, В.Н. Соловьёва // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 12. – С. 11–17.
7. Соловьёв И.Б. Нейросетевое моделирование при выборе интервала перфорации верхнемеловых отложений на примере месторождений Восточного Ставрополья / И.Б. Соловьёв, Т.В. Арутюнов, Е.П. Чуйкин // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 7. – С. 10–14. DOI: 10.30713/0207-2351-2018-9-17-22
8. Стулов Л.Г. Особенности геологического строения и размещения залежей нефти в верхнемеловом (маастрихтский ярус) природном резервуаре / Л.Г. Стулов, Д.В. Томашев, А.А. Папоротная // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 33–35.
9. Коллекторские свойства карбонатных пород триаса и верхнего мела Восточного Ставрополья / Г.Н. Чепак [и др.] // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1980. – № 12. – С. 1–5.
10. Черненко К.И. Некоторые особенности тектонического строения Величаевско-Максимокумского вала Восточного Ставрополья // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития территорий: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, посвящённой 30-летию факультета нефтегазовой инженерии СКФУ (07–08 декабря 2023 года, г. Ставрополь). – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет. – С. 112–116.
11. Чуйкин Е.П. Экономическая оценка доразработки остаточных извлекаемых запасов верхнемеловых отложений Южного месторождения на основе нейросетевого моделирования / Е.П. Чуйкин, Т.В. Арутюнов, О.В. Савенок // Современная Россия: потенциал инновационных решений и стратегические векторы развития экономики: материалы Международной научно-практической конференции (07–08 ноября 2018 года, г. Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2018. – С. 393–399.
12. Шиян С.И. Анализ показателей экономической эффективности разработки Тихомировского месторождения / С.И. Шиян, Е.В. Медведева, Г.В. Кусов // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2021: доклады XXII Международной молодёжной научной конференции (17–19 марта 2021 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2021. С. 420–426.
13. Шиян С.И. Анализ текущего состояния разработки пласта K2m Тихомировского месторождения / С.И. Шиян, Е.В. Медведева, Г.В. Кусов // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2021: доклады XXII

Международной молодёжной научной конференции (17–19 марта 2021 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2021. – С. 426–430.
14. Шиян С.И. Анализ экологической безопасности при разработке Тихомировского месторождения / С.И. Шиян, М.В. Корсак, Д.А. Косова // Инновационные решения актуальных проблем в области высокомолекулярных металлоорганических соединений: сборник научных работ Международной научно-практической онлайн-конференции (28 мая 2021 года, г. Ташкент). – Ташкент : Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии, 2021. – С. 28–31.
15. Перспективы применения методов повышения нефтеотдачи пластов на Полярном нефтяном месторождении на основе анализа эффективности применяемых методов на месторождениях-аналогах / С.И. Шиян [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 3(639). – С. 9–18. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-9-18

References

1. Development of a Comprehensive Geological and Technical Model to Enhance the Efficiency of Exploiting the Third Production Unit of an Oil, Gas, and Condensate Field / N.Kh. Zharikova [et al.] // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 274–299.
2. Effectiveness of Implementing Geological and Technical Measures in Field Development / M.V. Muravleva [et al.] // Research. Engineering. Extreme. 2021: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (June 3, 2021, Krasnodar). – Krasnodar : Publishing House «Yug» LLC, 2021. – P. 175–181.
3. Savenok O.V. Assessment of prospects for further development of oil reservoirs and implementation of geological and technical interventions in wells based on actual operational data / O.V. Savenok, E.N. Datsenko, V.N. Solovyova // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2018. – № 10. – P. 46–51. DOI: 10.30713/2413-5011-2018-10-46-51
4. Savenok O.V. Analysis of the causes for declining oil recovery at the Zapadno-Khosedayu field and recommendations for the implementation of geological and technical interventions / O.V. Savenok, E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Bulatov Readings. – 2022. – Vol. 1. – P. 290–298.
5. Safiullina E.U. Selection of an economically viable and technologically optimal development scenario for a group of fields in the Denisovskaya area / E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Breakthrough Technologies in the Exploration, Development, and Production of Hydrocarbon Resources: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference (November 15–16, 2022, Saint Petersburg). – St. Petersburg: Saint Petersburg Mining University, 2022. – 116 p.
6. Skuba D.A. Estimation of the actual vuggy-fractured capacity of limestones in oil-bearing Upper Cretaceous deposits of the Chechen Republic / D.A. Skuba, O.V. Savenok, V.N. Solovyova // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2016. – No. 12. – P. 11–17.
7. Solovyov I.B. Neural network modeling for selecting perforation intervals in Upper Cretaceous deposits: A case study of fields in Eastern Stavropol / I.B. Solovyov, T.V. Arutyunov, E.P. Chuykin // Oilfield Engineering (Neftepromyslovoye Delo). – 2018. – № 7. – P. 10–14. DOI: 10.30713/0207-2351-2018-9-17-22
8. Stulov L.G. Specifics of the geological structure and distribution of oil deposits within an Upper Cretaceous (Maastrichtian stage) natural reservoir / L.G. Stulov, D.V. Tomashev, A.A. Paporotnaya // Oil Industry (Neftyanoye Khozyaystvo). – 2013. – No. 2. – pp. 33–35.
9. Reservoir properties of Triassic and Upper Cretaceous carbonate rocks in the Eastern Stavropol region / G.N. Chepak [et al.] // Oil and Gas Geology and Geophysics. – 1980. – № 12. – P. 1–5.
10. Chernenko K.I. Some features of the tectonic structure of the Velichayevsko-Maksimokumsky swell in the Eastern Stavropol region // Innovative Technologies in the Oil and Gas Industry. Issues of Sustainable Territorial Development: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 30th anniversary of the Faculty of Oil and Gas Engineering at the North-Caucasus Federal University (December 7–8, 2023, Stavropol). – Stavropol : North-Caucasus Federal University. – P. 112–116.
11. Chuykin E.P. Economic Assessment of the Further Development of Remaining Recoverable Reserves in Upper Cretaceous Deposits of the Yuzhnoye Field Based on Neural Network Modeling / E.P. Chuykin, T.V. Arutyunov, O.V. Savenok // Modern Russia: Potential for Innovative Solutions and Strategic Vectors of Economic Development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (November 7–8, 2018, Krasnodar). – Krasnodar : Publishing House «Izdatelskiy Dom – Yug» LLC, 2018. – P. 393–399.
12. Shiyan S.I. Analysis of Economic Efficiency Indicators for the Development of the Tikhomirovskoye Field / S.I. Shiyan, E.V. Medvedeva, G.V. Kusov // SEVERGEOEKOTEKH-2021: Proceedings of the XXII International Youth Scientific Conference (March 17–19, 2021, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2021. – P. 420–426.

13. Shiyan S.I. Analysis of the Current State of Development of the K_2m Formation at the Tikhomirovskoye Field / S.I. Shiyan, E.V. Medvedeva, G.V. Kusov // SEVERGEOEKOTEKH-2021: Proceedings of the XXII International Youth Scientific Conference (March 17–19, 2021, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2021. – P. 426–430.
14. Shiyan S.I. Analysis of Environmental Safety During the Development of the Tikhomirovskoye Deposit / S.I. Shiyan, M.V. Korsak, D.A. Kosova // Innovative Solutions to Current Problems in the Field of High-Molecular Organometallic Compounds: Collection of Scientific Papers from the International Scientific-Practical Online Conference (May 28, 2021, Tashkent). – Tashkent : Tashkent Research Institute of Chemical Technology, 2021. – P. 28–31.
15. Prospects for the application of enhanced oil recovery methods at the Polyarnoye oil field, based on an analysis of the effectiveness of methods used at analogous fields / S.I. Shiyan [et al.] // Oilfield Engineering. – 2022. – № 3(639). – P. 9–18. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-9-18

УДК 620.193.4

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИИ СКВАЖИННОГО И ПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF THE MAIN CAUSES OF CORROSION IN DOWNHOLE AND FIELD EQUIPMENT

Горпинченко Алексей Николаевич
ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Деведопмент»
swengorr@yandex.ru

Аннотация. В статье выполнено описание коррозии нефтегазового оборудования как физического явления и обзор применяемых методов борьбы с коррозией. В результате анализа установлена корреляция между концентрацией сероводорода и углекислого газа в добываемой продукции. Сделан вывод о том, что разрушение металлов в результате коррозионных процессов протекает по химическому или электрохимическому механизму. Одним из эффективных методом борьбы с коррозией является применение коррозионностойких материалов, но зачастую они обладают неподходящими прочностными характеристиками либо их стоимость превышает установленные пределы.

Ключевые слова: коррозия скважинного и промыслового оборудования; основные причины возникновения коррозии; общие понятия о коррозионных процессах; основные виды коррозии; описание природы коррозионных процессов; виды проявления коррозии глубинного оборудования; виды проявления коррозии трубопроводов системы сбора скважинной продукции.

Gorpinchenko Alexey Nikolaevich
LLC «Gazprom personnel»
project «Achim Development»
swengorr@yandex.ru

Annotation. This article describes the corrosion of oil and gas equipment as a physical phenomenon and reviews the methods used to combat it. Analysis reveals a correlation between the concentrations of hydrogen sulfide and carbon dioxide in the produced fluids. It is concluded that metal degradation resulting from corrosion processes proceeds via chemical or electrochemical mechanisms. While the use of corrosion-resistant materials is an effective mitigation strategy, these materials often lack suitable strength characteristics or exceed cost limits.

Keywords: corrosion of downhole and field equipment; primary causes of corrosion; general concepts of corrosion processes; main types of corrosion; description of the nature of corrosion processes; manifestations of corrosion in downhole equipment; manifestations of corrosion in well-stream gathering system pipelines.

Общие понятия о коррозионных процессах

Под коррозией понимается самопроизвольное нарушение строения кристаллической решётки металлов или их сплавов в результате внешнего воздействия (химического, физико-химического, электрохимического) окружающей среды. Основной причиной возникновения коррозии является термодинамическая нестабильность данного конструкционного материала по отношению к взаимодействующим с ним веществам.

Стоит отметить, что естественное механическое разрушение конструкции не описывается в полной мере коррозией или воздействием внешних сил, а содержит в себе усталостные нарушения целостности и сплошности металла. В работе рассматриваются комплексные разрушения, вызванные одновременным воздействием химически агрессивных веществ и динамических нагрузок.

Наличие сероводорода в перекачиваемой среде само по себе не приводит к разрушению сосуда. К нарушению его целостности приводит перекачка среды, содержащей сероводород, в течение длительного времени при переменных значениях расхода. Коррозионные факторы, как правило, действуют комплексно.

Коррозионные свойства перекачиваемой продукции определяются, главным образом, химическими характеристиками – компонентным составом. Он может меняться в зависимости от природных и техногенных условий конкретного промыслового объекта. Например, в случае с месторождением углеводорода такими параметрами могут являться условия и глубины залегания флюидов, текущие темпы отбора продукции, параметры применяемой технологии добычи.

Коррозионные факторы могут проявляться на каждом из этапов разработки и эксплуатации месторождения. Например, даже при бурении и строительстве скважин воздействию агрессивных сред будут подвергаться все узлы буровой установки, поскольку они образуют замкнутую циркуляционную систему. Кроме того, при освоении и эксплуатации скважин подача химически активных компонентов в систему сбора и подготовки приводит к значительному сокращению их ресурса. Особенно явно коррозионно-активные вещества проявляются на заключительных этапах разработки месторождения.

Наиболее широко распространёнными веществами, вызывающими коррозию, являются диоксид углерода (CO_2), сероводород (H_2S), а также кислород (O). Коррозия, связанная с действием сероводорода, наблюдается примерно в 20 % всех случаев коррозии.

Скорость протекания коррозии зависит от ряда факторов, главным образом, от состава и режима жидкости (турбулентности потока). Факторами, усиливающими проявление коррозии, являются высокие значения давления и температуры.

Дополнительным негативным фактором, вызывающим коррозию, является продолжительный простой скважины. Часто остановка в работе не является плановой, а происходит по причине выхода из строя глубинного оборудования. В такой ситуации на забое скважины происходит накапливание воды. Если скважинная продукция содержит большое количество агрессивных компонентов, то происходит контактная коррозия клапанных пар, приводящая к их дальнейшему заклиниванию и осложнению при дальнейших ремонтах. Данный процесс объясняется электрохимической природой протекания реакции (в присутствии электролита).

Несмотря на различные паспортные сроки эксплуатации подземного и наземного оборудования, коррозии они подвергаются примерно в равной степени. На подземное оборудование в целом оказывается более агрессивное воздействие: химически активные вещества, механические примеси, высокие температуры и динамические нагрузки часто приводят к выходу из строя ещё в первый год эксплуатации.

Коррозии в большей степени подвержены корпуса двигателя (ПЭД). Дефекты этой части оборудования приводят к выходу из строя всего комплекса – это наиболее часто встречающийся дефект (до 70 %). Схема глубинно-насосного оборудования показана на рисунке 1.

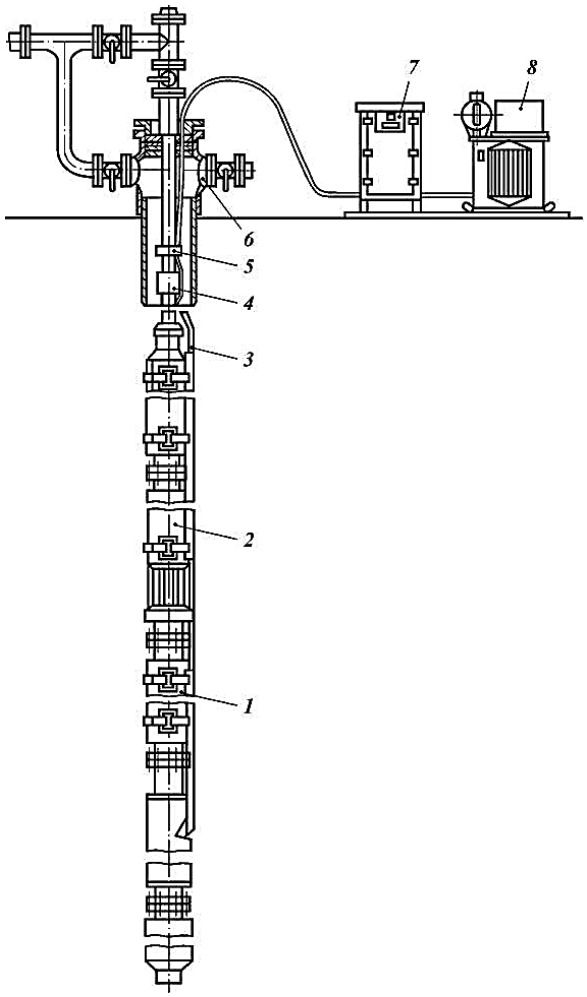

Рисунок 1 – Устройство и компоненты электроцентробежного насоса:
1 – корпус гидрозащиты; 2 – тело насоса; 3 – кабельная линия;
4 – насосно-компрессорные трубы; 5 – пояс; 6 – устьевая обвязка скважины;
7 – станция управления; 8 – трансформаторное устройство

Наиболее часто коррозия наблюдается на поверхности корпуса погружного электродвигателя, элементах проектора и газосепараторе. Основной причиной этого является интенсивное движение пластовой жидкости, содержащей химически активные элементы.

При постоянном контакте пластовой продукции и подземного оборудования возникают следующие виды коррозии:

а) неравномерная (общая);

б) местная (локальная).

Данные виды коррозии приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Основные виды коррозии

Зачастую эти два вида коррозии протекают на одной и той же поверхности, но на разных её участках. Это связано с различными механизмами реологии флюида и может быть описано моделированием течения жидкости внутри корпуса.

Скорость общей коррозии составляет порядка 0,7 мм/год. Для неё характерно воздействие по всей площади в целом, в связи с чем происходит утончение значительных участков поверхности. С учётом значительных динамических нагрузок такое утончение приводит к нарушению прочностных характеристик и появлению разрывов на поверхности. В целом данный вид коррозии является весьма предсказуемым ввиду своей равномерности, поэтому не оказывает значительного вклада в разрушение материалов.

Значительно сильнее на прочностные характеристики влияет локальная коррозия. Её скорость может достигать 10 мм/год при толщине некоторых элементов оборудования 6 мм. За весьма короткий срок такая коррозия может превратиться в сквозную. При этом на соседних участках оборудования коррозия может отсутствовать, а толщина стенки будет равняться номинальной. Различные виды коррозии приведены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Виды коррозии

При эксплуатации подземного оборудования чаще всего встречается коррозия в виде канавок, мейза-коррозия и коррозионное растрескивание. Это обусловлено наличием микродефектов внутренних стенок трубопровода и динамическими нагрузками, которые создают по поверхности тела наиболее уязвимые участки.

Наименее существенным видом коррозии является коррозия пятнами, поскольку площадь такого нарушения значительно превышает глубину проникновения. Скорость коррозии при этом составляет порядка 0,6 мм/год. Поэтому этот вид разрушения представляет сравнительно меньшую опасность, чем другие виды локальной коррозии.

Коррозия называется питтинговой (язвенной), когда в теле металла образуются полости (каверны). Образование таких полостей часто начинается с формирования канавки, которая затем углубляется, минуя более устойчивую поверхность. Такой вид коррозии способен быстро сформировать сквозные отверстия и полностью разрушить стенки корпуса. Инструментальные замеры оборудования, подвергшегося сквозной коррозии, показали, что средняя скорость протекания составляет 4–5 мм/год.

При воздействии на поверхность металла электрического напряжения возникают коррозионные нарушения в виде плато овальной рельефной формы. На границе перехода между корродированным металлом и неповреждённым наблюдаются значительные язвенные повреждения. Средняя скорость разрушений этого вида составляет 1–2 мм/год. Одной из характерных причин такого явления могут стать утечки тока при нарушении целостности кабеля, питающего ЭЦН. Данные утечки характерны для ситуации, когда расстояние между корпусом погружного электродвигателя и внутренней стенкой обсадной колонны составляют менее 1 мм. Ввиду сложного описания законов течения тока внутри корпуса, данный вопрос требует дополнительного изучения.

При одновременном протекании коррозии по поверхности и в глубину наблюдается так называемая мейза-коррозия. Скорость распространения коррозии варьируется в широких пределах. Распространение по поверхности может достигать до 50 мм^2/год, при этом в глубину скорость примерно соответствует питтинговой и достигает 5 мм/год. Проявление мейза-коррозии характерно для сред с относительно высоким содержанием углекислого газа (CO_2), а в местах наиболее активного давления этого компонента наблюдаются очаги возникновения. Поверхность металла приобретает характерный для данного вида коррозии облик: ступенчатые ребристые борозды, язвы могут развиваться одна внутри другой.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что коррозионное поражение стальных элементов оборудования вызывается химической агрессивностью транспортируемых жидкостей (флюидов). Степень этого поражения можно оценить по количественному значению концентраций тех или иных компонентов. Первостепенную роль в формировании очагов коррозии играет сероводород, следствием наличия которого является водородное охрупчивание металла. Дополнительный негативный аспект влияния на нефтегазовое оборудование – применение агрессивных сред при проведении кислотных обработок (для очистки забоя от солей, парафинов).

Совокупность этих факторов приводит к сокращению времени полезного использования подземного оборудования, дорогостоящим ремонтным работам и, как следствие, убыткам недропользователя.

Поскольку перекачка ведётся под избыточным давлением, оборудование испытывает растягивающие напряжения. При совместном воздействии химически агрессивных веществ и избыточного давления наблюдается такое явление, как коррозионное растрескивание под напряжением.

Одним из эффективных методов защиты оборудования от коррозии является создание защитной плёнки на поверхности контакта перекачиваемой среды и стенки оборудования. Для создания такой плёнки необходимо введение специальных химических веществ – ингибиторов коррозии. При этом никакое вещество не сможет полностью защитить поверхность от коррозии, но сможет значительно замедлить этот процесс.

Существуют различные способы создания подобной защитной плёнки на поверхности. Самым эффективным является применение катодных способов, поскольку в этом случае достигается создание наиболее плотной плёнки. К другим способам относятся:

1) непосредственное нанесение на поверхность;
2) непрерывная подача раствора на присоединительном узле трубопровода;
3) применение автоматизированных дозировочных устройств.

Описание природы коррозионных процессов

Для решения задачи о повышении эффективности эксплуатации оборудования в присутствии сероводородных сред необходимо иметь представление о механизмах, возникающих при разных видах коррозионного растрескивания. После анализа пред-

посылок к возникновению коррозии возможно изучение существующих методов её предупреждения и замедления.

Основным международным документом, содержащим в себе типовую классификацию различных видов сероводородной коррозии, является ISO 15156-2001. Базовые термины, утверждённые этим документом, рассмотрены NACE (National Association of Corrosion Engineers, USA) с последующим созданием свода NACE MR0175.

На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р 53679-2009 «Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при добыче нефти и газа». В нём, в частности, выделяются следующие механизмы проявления коррозии:

1) сероводородное растрескивание под напряжением (SSC);
2) водородное растрескивание (HIC);
3) водородное растрескивание, ориентированное по напряжению (SOHIC);
4) растрескивание мягких зон (SZC);
5) ступенчатое растрескивание (SWC);
6) коррозионное растрескивание под напряжением (SCC).

Возникновение сероводородного растрескивания под напряжением возможно при наличии коррозионной активности и растягивающих напряжений. Данный вид коррозии протекает только в присутствии воды или сероводорода.

Аналогичный механизм характерен для водородного растрескивания, но в данном случае растягивающие напряжения отсутствуют, они возникают за счёт давления скопившегося водорода.

Водородное растрескивание, ориентированное по напряжению, является промежуточным положением между сероводородным растрескиванием под напряжением и водородным растрескиванием.

Растрескивание мягких зон возникает при наличии в составе конструкции локальной зоны, характеризующейся более низким пределом текучести в сравнении с остальными участками.

При ступенчатом растрескивании происходит соединение водородных трещин, расположенных в соседних плоскостях в составе структуры. Данный вид растрескивания характерен для конструкций, выполненных из толстолистовой стали.

Сероводородное растрескивание под напряжением характерно для оборудования, работающего под давлением, например, газопроводы высокого давления, магистрали систем теплоснабжения (котлы).

Коррозия, характерная для оборудования нефтегазового сектора, в целом подразделяется на *внешнюю* и *внутреннюю*. Внутренняя характерна для поверхности стенок насосно-компрессорных труб, обсадной колонны, внутренней поверхности устьевой арматуры и трубопроводов. Внешняя коррозия характерна для участков контакта обсадной колонны с горными породами и пластовыми флюидами, либо водоносными пропластками.

Скорость проявления коррозии также зависит от термобарических условий. Например, даже значительные концентрации сероводорода или углекислого газа при низком давлении вызывают коррозию, аналогичную более низким значениям концентраций, но при больших давлениях. Как правило, наблюдается прямая корреляция между давлением среды и скоростью коррозии.

Известно о существовании связи между водородным показателем среды (pH) и видом коррозии. С ростом давления H_2S при низких значениях давления происходит процесс водородного охрупчивания, а не собственно сероводородная коррозия. Критическое значение парциального давления составляет порядка 0,3 кПа. Данное значение закреплено в ГОСТ Р 53678-2009 (ИСО 15156-2:2003). Связь между типом коррозии и давлением при различных концентрациях сероводорода приведены на рисунке 4.

В соответствии с той или иной зоной агрессивности выбираются определённые характеристики сплавов. Для зоны 1 применяются стали твёрдости 70,6 HRN с минимальным пределом текучести 360 МПа. Для зоны 2 применяются стали группы прочности N80 (Q), C95 с пределом текучести 780 МПа. Для зоны 3 характерно применение сплавов типа ASTM A193 GrB7M с пределом текучести 580 МПа.

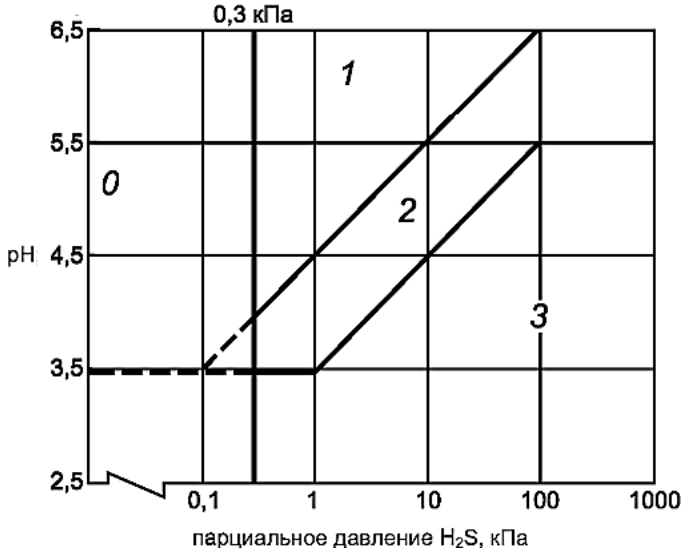

Рисунок 4 – Зоны агрессивности среды в отношении SSC углеродистых и низколегированных сталей

Вид и скорость коррозии также зависят от температуры. Известно, что при низких температурах наиболее типичными проявлениями являются общая и точечная коррозия. Это объясняется наличием защитной плёнки, состоящей из сульфида железа. При температурах порядка 105 °С данная плёнка теряет гладкость. Восприимчивость к SSC достигает наибольших значений в интервале температур 15–25 °С.

С точки зрения промысловых трубопроводов перекачка сред, содержащих сероводород, приводит не к увеличению скорости развития коррозии, а к явлению водородного охрупчивания стали, которое ведёт к растрескиванию (HIC). Для количественной оценки степени износа в условиях статических нагрузок применяется величина статической водородной усталости.

Локальный характер коррозии оказывает особенно сильное влияние на распределение напряжений в местах, близких к возникающим трещинам. Поблизости от трещины наблюдается рост концентрации водорода, своего максимума он достигает в местах концентрации напряжений. На данных участках, как правило, впоследствии возникает очаг растрескивания.

Водородному охрупчиванию в большей мере подвержены ферритные стали средней прочности и мартенситные стали высокой прочности. В присутствии сероводорода степень поглощения водорода поверхностью металла возрастает – это происходит по причине адсорбции серы.

Коррозионные процессы при водородном охрупчивании (HIC) распространяются вдоль оси трубы, направление трещины совпадает с направлением оси трубопровода. Данный вид коррозии отличается от сероводородного растрескивания направлением распространения трещины. Схема формирования продуктов коррозии приведена на рисунке 5.

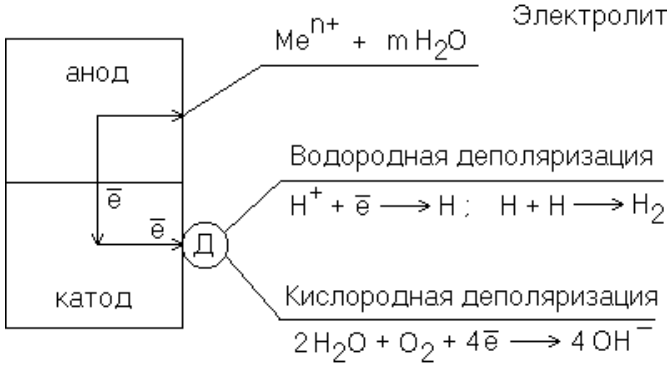

Рисунок 5 – Схема формирования продуктов коррозии и водородных радикалов

Оценка коррозионной активности среды

Ранее было показано, что коррозия внутренних поверхностей трубопроводов и скважинного оборудования происходит под действием химической активности атомов водорода в присутствии электролита.

В настоящее время надёжность нефтяного оборудования оценивают отдельно для каждого типа оборудования на основе результатов регулярных коррозионных испытаний. До недавнего времени оценка долговечности нефтяного оборудования сводилась к определению скорости равномерной коррозии, которой подвержены углеродистые стали. Однако равномерное разрушение металла по всей его поверхности в реальных условиях является маловероятным и не позволяет точно предсказать опасность эксплуатации металлоконструкций в средах, содержащих сероводород и нефть.

Путём использования статистического анализа данных, полученных в лабораторных условиях, приближённых к реальным эксплуатационным условиям нефтедобывающего оборудования, получены зависимости между степенью активности коррозии и водородным показателем среды. Проведённые исследования показали, что сероводород проявляется наиболее активно в слабокислых и нейтральных растворах.

Оксидная плёнка, образующаяся на поверхности металла с течением времени, истончается. Это приводит к образованию точечных деструктивных и энергетических нарушений в оксидной плёнке, атомные связи железа с кислородом в этих местах ослаблены или вообще отсутствуют до контакта стали с коррозионной средой. Воздействие ионов HS^- и Cl^- на эти точки приводит к изменению конфигурации оксидной плёнки за счёт возможного ослабления связей «металл – металл», локальной замены ионов кислорода на гидро- и сульфид-ионы, а также включения серы и металлических сульфидных образований в оксидную плёнку. В зависимости от химического состава поверхности оксидной плёнки (наличия включений) одна и та же добавка ингибирующего вещества может как ингибировать, так и стимулировать коррозию.

Локальная коррозия углеродистой стали в хлоридных и сульфидных средах может быть описана корреляционной зависимостью «возникновение локальных разрушений – кумулятивное увеличение глубины повреждения». Для описания коррозионного процесса (в случае формирования ручейка) применяется механическая модель изменения толщины стенки.

В результате анализа данной модели получено уравнение величины изменения толщины стенки в зависимости от механического напряжения и химической активности среды:

$$h_i = v_0 \cdot K_{MX}(t_i) + \frac{k_\sigma \cdot \sigma_0}{b} \cdot \left(e^{b \cdot v_0 \cdot K_{MX}(t_i)} - 1\right), \quad (1)$$

где v_0 – скорость коррозии материала трубы в присутствии эмульсии, мм/год; K_{MX} – коэффициент механохимической повреждаемости, ед.; k_σ – коэффициент, учитывающий влияние механических напряжений, ед.; σ_0 – начальное значение напряжений, МПа; t_i – время эксплуатации трубопровода, лет; b – коэффициент, учитывающий диаметр трубопровода, МПа · мм$^{-1}$.

Механохимический параметр напряжений может быть вычислен по формуле:

$$k_\sigma = \frac{1}{3} \cdot \frac{V \cdot \left(1 + \sigma_{пр} \cdot \sigma_{кц}^{-1}\right)}{R \cdot T \cdot \left[1 - \sigma_{пр} \cdot \sigma_{кц}^{-1} + \left(\sigma_{пр} \cdot \sigma_{кц}^{-1}\right)^2\right]}, \quad (2)$$

где V – моляльный объём стали, м^3; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(°К · моль); $\sigma_{пр}$ – продольные напряжения, МПа; $\sigma_{кц}$ – поперечные напряжения, МПа.

В случае, когда деформации при работе трубопровода описываются упругим законом, зависимость глубины коррозионного поражения может быть описана линейной и нелинейной моделью. Данные зависимости приведены на рисунке 6.

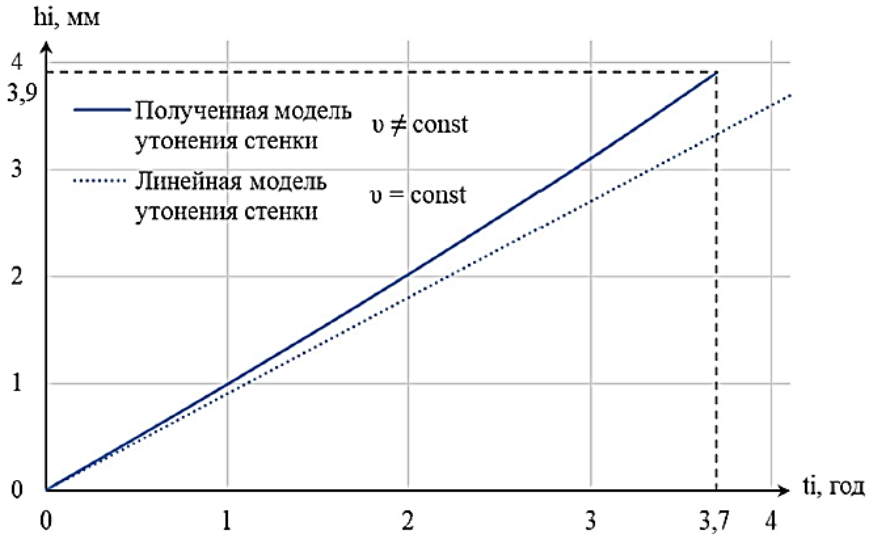

Рисунок 6 – Зависимость глубины коррозионного поражения при коррозии нефтепромыслового трубопровода от времени (упругая зона)

Выводы

В статье следующие положения:

1) общие определения теории коррозии скважинного и промыслового оборудования;

2) основные причины возникновения коррозии;

3) виды проявления коррозии глубинного оборудования и трубопроводов системы сбора скважинной продукции.

Одним из самых эффективных способов борьбы с коррозией является применение катодных способов, поскольку в этом случае достигается создание наиболее плотной плёнки. К другим способам относятся:

- непосредственное нанесение на поверхность;
- непрерывная подача раствора на присоединительном узле трубопровода;
- применение автоматизированных дозировочных устройств.

Установлено, что коррозионное поражение стальных элементов оборудования вызывается химической агрессивностью транспортируемых жидкостей (флюидов). Степень этого поражения оценивается по количественному значению концентраций тех или иных компонентов. Первостепенную роль в формировании очагов коррозии играет сероводород, следствием наличия которого является водородное охрупчивание металла. Дополнительный негативный аспект влияния на нефтегазовое оборудование – применение агрессивных сред при проведении кислотных обработок (для очистки забоя от солей, парафинов).

Совокупность этих факторов приводит к сокращению времени полезного использования подземного оборудования, дорогостоящим ремонтным работам и, как следствие, убыткам недропользователя.

Литература

1. Эффективная защита сооружений от коррозии, новые методы / Н.А. Безрученко [и др.] // Приоритеты мировой науки. Новые горизонты: материалы I Международной научно-практической конференции (26 марта 2025 года, г. Краснодар). – Краснодар : Издательство: ИП Алзидан, 2025. – С. 50–55.
2. Горпинченко А.Н. Проведение исследований по измерению скорости коррозии в системе сбора газа Песцовой площади Уренгойского НГКМ / А.Н. Горпинченко, Н.Х. Жарикова, М.И. Самойлов // Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья: тезисы докладов (15–16 ноября 2022 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – 45 с.

3. Анализ результатов коррозионного мониторинга Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко [и др.] // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2023: материалы XXIV Международной молодёжной научной конференции (30–31 марта 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2023. – С. 352–359.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Горпинченко А.Н. Подбор ингибитора коррозии с учетом свойств добываемой жидкости / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова, П.П. Порывкин // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 1. – С. 150–153.
8. 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.
9. Горпинченко А.Н. Анализ методов борьбы с коррозионной агрессией в условиях ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 3. – С. 101–113.
10. Горпинченко А.Н. Анализ типов коррозии нефтегазопромыслового оборудования // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 4. – С. 142–148.
11. Классификация коррозионных процессов / Г.И. Кореновский [и др.] // REFERATOTECH: материалы II Международной научно-практической конференции (23 октября 2021 года, г. Краснодар) : в 2 т. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – Т. 2.– С. 17–22.
12. Поварова Л.В. Анализ современных методов защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 125–129.
13. 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.
14. Поварова Л.В. Причины коррозии нефтепромысловых трубопроводов и способы их защиты / Л.В. Поварова, М.А. Самарин, Р.А. Тараник // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2. – С. 32–39.
15. 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.
16. 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.
17. Разработка технического решения по предупреждению углекислотной коррозии / А.В. Шептухин [и др.] // Рассохинские чтения: материалы международной конференции (02–03 февраля 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2023. – С. 119–126.
18. Состояние изученности проблемы углекислотной коррозии на примере Уренгойского месторождения / А.В. Шептухин [и др.] // Булатовские чтения. – 2023. – Т. 1. – С. 307–315.

References

1. Effective Corrosion Protection for Structures: New Methods / N.A. Bezruchenko [et al.] // Priorities of Global Science. New Horizons: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference (March 26, 2025, Krasnodar). – Krasnodar : IP Alzidan, 2025. – P. 50–55.
2. Gorpinchenko A.N. Research on Corrosion Rate Measurement in the Gas Gathering System of the Pestsovoye Field (Urengoy Oil, Gas, and Condensate Field) / A.N. Gorpinchenko, N.Kh. Zharikova, M.I. Samoylov // Breakthrough Technologies in the Exploration, Development, and Production of Hydrocarbon Resources: Abstracts (November 15–16, 2022, Saint Petersburg). – SPb. : Saint Petersburg Mining University, 2022. – 45 p.
3. Analysis of Corrosion Monitoring Results at the Urengoy Oil, Gas, and Condensate Field / A.N. Gorpinchenko [et al.] // SEVERGEOEKOTEKH-2023: Proceedings of the XXIV International Youth Scientific Conference (March 30–31, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2023. – P. 352–359.

4. Gorpinchenko A.N. Evaluation of Corrosion Control Methods in Oil and Gas Gathering and Treatment Systems During Field Development in Western Siberia // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 3. – P. 119–134.
5. Gorpinchenko A.N. Calculation of Carbon Dioxide Corrosion Rates for Downhole Equipment Using Various Methodologies / A.N. Gorpinchenko, A.A. Melnikova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 133–146.
6. Gorpinchenko A.N. Evaluating the Effectiveness of Inhibition Technology for Gas and Gas-Condensate Wells Under Conditions of Carbon Dioxide Corrosion / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 147–161.
7. 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.
8. Gorpinchenko A.N. Analysis of corrosion monitoring in one of the sectors of the Urengoy oil, gas, and condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 237–252.
9. Gorpinchenko A.N. Analysis of methods for combating corrosive aggression in the Achimov deposits of the Urengoy oil, gas, and condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 3. – P. 101–113.
10. Gorpinchenko A.N. Analysis of Corrosion Types in Oil and Gas Field Equipment // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 4. – P. 142–148.
11. Classification of Corrosion Processes / G.I. Korenovsky [et al.] // REFERATOTECH: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (October 23, 2021, Krasnodar) : in 2 vols. – Krasnodar : Publishing House «Yug» LLC, 2022. – Vol. 2. – p. 17–22.
12. Povarova L.V. Analysis of Modern Methods for Protecting Oilfield Equipment from Corrosion / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 125–129.
13. Povarova L.V. Corrosion of Pipelines and Oil and Gas Equipment / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 130–135.
14. Povarova L.V. Causes of Corrosion in Oilfield Pipelines and Methods for Their Protection / L.V. Povarova, M.A. Samarin, R.A. Taranik // Bulatov Readings. – 2021. – Vol. 2. – P. 32–39.
15. Savenok O.V. Specifics of Operating Oil and Gas Wells Under Highly Corrosive Conditions / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 155–170.
16. Savenok O.V. Analysis of Corrosion-Mechanical Failures of Structural Materials Used in Oil and Gas Field Equipment / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko, P.P. Poryvkin // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 3. – P. 133–147.
17. Development of a Technical Solution for the Prevention of Carbon Dioxide Corrosion / A.V. Sheptukhin [et al.] // Rassokhin Readings: Proceedings of the International Conference (February 2–3, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2023. – P. 119–126.
18. Current State of Research on the Problem of Carbon Dioxide Corrosion: A Case Study of the Urengoy Field / A.V. Sheptukhin [et al.] // Bulatov Readings. – 2023. – Vol. 1. – P. 307–315.

УДК 620.193.4

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЛЯ ТРУБ С КОРРОЗИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ ПОТЕРИ МЕТАЛЛА И РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК ANSYS

♦♦♦♦♦

ASSESSMENT OF THE REMAINING SERVICE LIFE OF PIPES WITH METAL-LOSS CORROSION DEFECTS AND STRESS ANALYSIS OF THE PIPELINE USING ANSYS SOFTWARE

Горпинченко Алексей Николаевич
ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Деведопмент»
swengorr@yandex.ru

Аннотация. Коррозия в системе сбора нефти проявляется в виде различных видов повреждений, вызванных химическими и электрохимическими процессами. Данный процесс может включать в себя образование прорывов в трубопроводах и оборудовании, образование отложений продуктов коррозии, выпадение солей и осадков. Коррозионное повреждение оборудования увеличивает риск возникновения утечек и аварийных ситуаций. В статье проведена оценка существующих методик расчёта скорости коррозии (т.е. изменения толщины стенки оборудования). Установлено, что локальная коррозия углеродистой стали в хлоридных и сульфидных средах может быть описана корреляционной зависимостью «возникновение локальных разрушений – кумулятивное увеличение глубины повреждения». Для описания коррозионного процесса (в случае формирования ручейка) применяется механическая модель изменения толщины стенки.

Ключевые слова: оценка остаточного ресурса; несущая способность стенки трубопровода; расчёт напряжений в трубопроводе; расчёт напряжений для различных случаев глубины развития; критическое давление в зависимости от длины трещины; оценка стресс-коррозионного дефекта; зависимость эквивалентного напряжения от длины трещины.

Gorpinchenko Alexey Nikolaevich
LLC «Gazprom personnel»
project «Achim Development»
swengorr@yandex.ru

Annotation. Corrosion in the oil collection system manifests itself in the form of various types of damage caused by chemical and electrochemical processes. This process may include the formation of leaks in pipelines and equipment, the accumulation of corrosion product deposits, and the precipitation of salts and sediments. Corrosion damage to equipment increases the risk of leaks and emergency situations. The article evaluates existing methods for calculating the corrosion rate (i.e., the change in the thickness of the equipment wall). It has been established that the local corrosion of carbon steel in chloride and sulfide media can be described by the correlation «the occurrence of local damage is a cumulative increase in the depth of damage». A mechanical model of wall thickness variation is used to describe the corrosion process (in the case of rivulet formation).

Keywords: assessment of remaining service life; load-bearing capacity of the pipeline wall; pipeline stress analysis; stress analysis for various crack depths; critical pressure as a function of crack length; assessment of a stress-corrosion defect; dependence of equivalent stress on crack length.

Внутренняя коррозия является существенной причиной для отказа промыслового нефтепровода. Наиболее часто встречается коррозия донной части трубопровода, которая имеет вид продольного надреза. По этой причине она носит название «ручейковая коррозия».

В зависимости от формы профиля коррозионной канавки выделяют 3 характерных проявления данного вида коррозии:

1) серповидная;
2) овальная;
3) шпоночная.

Виды распределений эквивалентных напряжений по профилю коррозионного нарушения показаны на рисунке 1.

В связи с тем, что в месте возникновения канавки наблюдается уменьшение толщины стенки, на этом участке возникает локальная концентрация напряжений. Наиболее высокие напряжения характерны для шпоночной канавки, поскольку она имеет более острую геометрию.

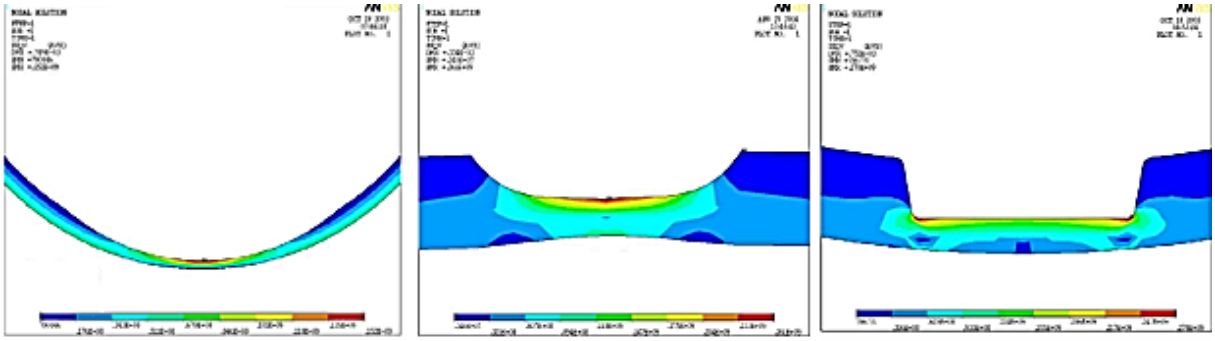

Рисунок 1 – Виды распределений эквивалентных напряжений по профилю «ручейка»

Оценка остаточного ресурса

Развитие коррозионного процесса основывается на механохимическом эффекте, протяжённом во времени. Для оценки глубины коррозионного поражения при ручейковой коррозии от времени в данном случае применимо уравнение (1), справедливое для работы трубопровода как в упругой, так и пластической зонах:

$$\frac{dh}{dt} = v_0 \cdot \left(1 + k_\sigma \cdot \sigma_i\right) \cdot \left(1 + k_\varepsilon \cdot \varepsilon_i\right), \quad (1)$$

где v_0 – скорость коррозии металла в ненапряжённом состоянии, мм/год; σ_i – интенсивность напряжений, МПа; ε_i – интенсивность деформации; k_ε – деформационный механохимический параметр (для трубопровода из углеродистой стали k_ε = 5); k_σ – силовой механохимический параметр, МПа$^{-1}$.

Остаточный ресурс трубопроводов может быть определён в соответствии с требованиями отраслевого стандарта ОСТ 152-39.4-010-2002 «Методика определения остаточного ресурса нефтепромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений». В соответствии с данным нормативным документом выделяются следующие методы расчёта остаточного ресурса:

1) по минимальной вероятной толщине стенки труб по результатам диагностики;
2) по росту коррозионно-эрозионного износа стенки трубы;
3) по малоцикловой долговечности по критерию зарождения трещин;
4) по характеристикам трещиностойкости;
5) по статистике отказов.

Данные методы охватывают все возможные виды возникающих в трубопроводе деформаций, в том числе нетрещиноподобных дефектов (вмятин), острых трещиноподобных дефектов, иных дефектов.

Для аналитических расчётов применяется метод расчёта остаточного ресурса трубопровода на основе минимальной вероятной толщины стенки. Данный метод основан на проведении выборочного контроля толщины стенок, по результатам которого рассчитывается минимальная вероятная толщина стенки трубопровода. Затем полученное значение сравнивается с отбраковочной толщиной стенки, рассчитанной в соответствии с условиями эксплуатации.

Существует альтернативная методика расчёта остаточного ресурса трубопровода, основанная на вероятностном подходе. Принципиальным отличием от метода расчёта минимальной вероятной толщины стенки является применение степенной функции статистической обработки замеров толщины стенки. Данный параметр оценивается по результатам многочисленных замеров толщины стенки. В случае проведения диагностики толщины стенки более одного раза степень признается равной 1, что говорит о применении линейной модели износа.

Особенности этого метода включают установление скорости износа на основе имеющейся базы данных по скоростям общей коррозии. Расчёт основан на вероят-

ностных и статистических показателях, но проще, чем метод расчёта остаточного ресурса трубопровода на основе минимальной вероятной толщины стенки, который учитывает коррозионно-эрозионный износ. Ещё одним преимуществом такого подхода является то, что он не зависит от природы отказа и поэтому может быть распространён и на другие виды разрушений. Тем не менее, такой расчёт имеет более приближённый характер, а его использование возможно в качестве дополнения к другим методам.

Несущая способность стенки трубопровода зависит от различных факторов – собственно скорости коррозии, степени влияния статических и динамических напряжений. С увеличением степени влияния напряжений остаточный ресурс значительно сокращается. Графически данная зависимость приведена на рисунке 2.

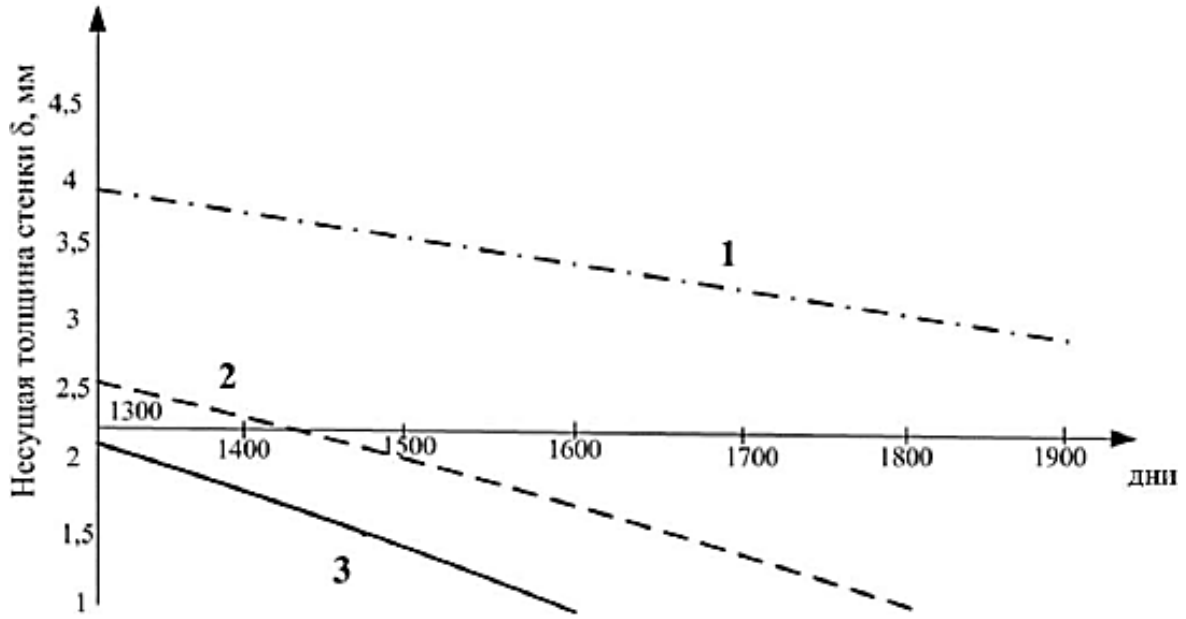

Рисунок 2 – Изменение несущей способности стенки трубопровода при влиянии различных факторов во времени:
1 – при скорости внутренней коррозии 0,6 мм/год;
2 – с учётом зависимости скорости коррозии от статических напряжений;
3 – с учётом зависимости скорости коррозии от статических и динамических напряжений

В методических указаниях по проведению мероприятий диагностики промысловых трубопроводов ПАО «Газпромнефть» описывается методика определения периода и условий безопасной эксплуатации трубопровода с дефектами. По данной методике период безопасной эксплуатации трубопровода означает период, в течение которого трубопровод может эксплуатироваться при установленных допустимых параметрах, определённых на основании результатов экспертизы, от момента проведения экспертизы до следующей. Порядок расчёта показан на рисунке 3.

Проанализировав международные нормативные документы по расчёту надёжности трубопроводов с коррозионными дефектами, установлено, что методы расчёта величины предельного значения давления дефектного участка трубопровода определяются линейными соотношениями теории сопротивления материалов. Для корректности расчёта применяются эмпирические коэффициенты, учитывающие характер поведения металла. Данные коэффициенты определяются путём сопоставления результатов коррозионного эффекта, полученного в результате численного моделирования, с реальными значениями лабораторного анализа.

Для анализа рассмотрены стандарты B31G, RSTRENG-1, DNV-99, SHELL PCORRC. Установлено, что в подходах B31G и RSTRENG-1 используется понятие предела текучести, а в методиках SHELL, DNV и PCORRC используется понятие предела прочности. Данное расхождение даёт большое различие значений давления разрушения.

Расчёт показал, что максимальные значения эквивалентных напряжений от относительной глубины и относительной ширины канавки могут быть описаны степенной функцией. Распределение приведено на рисунках 4 и 5.

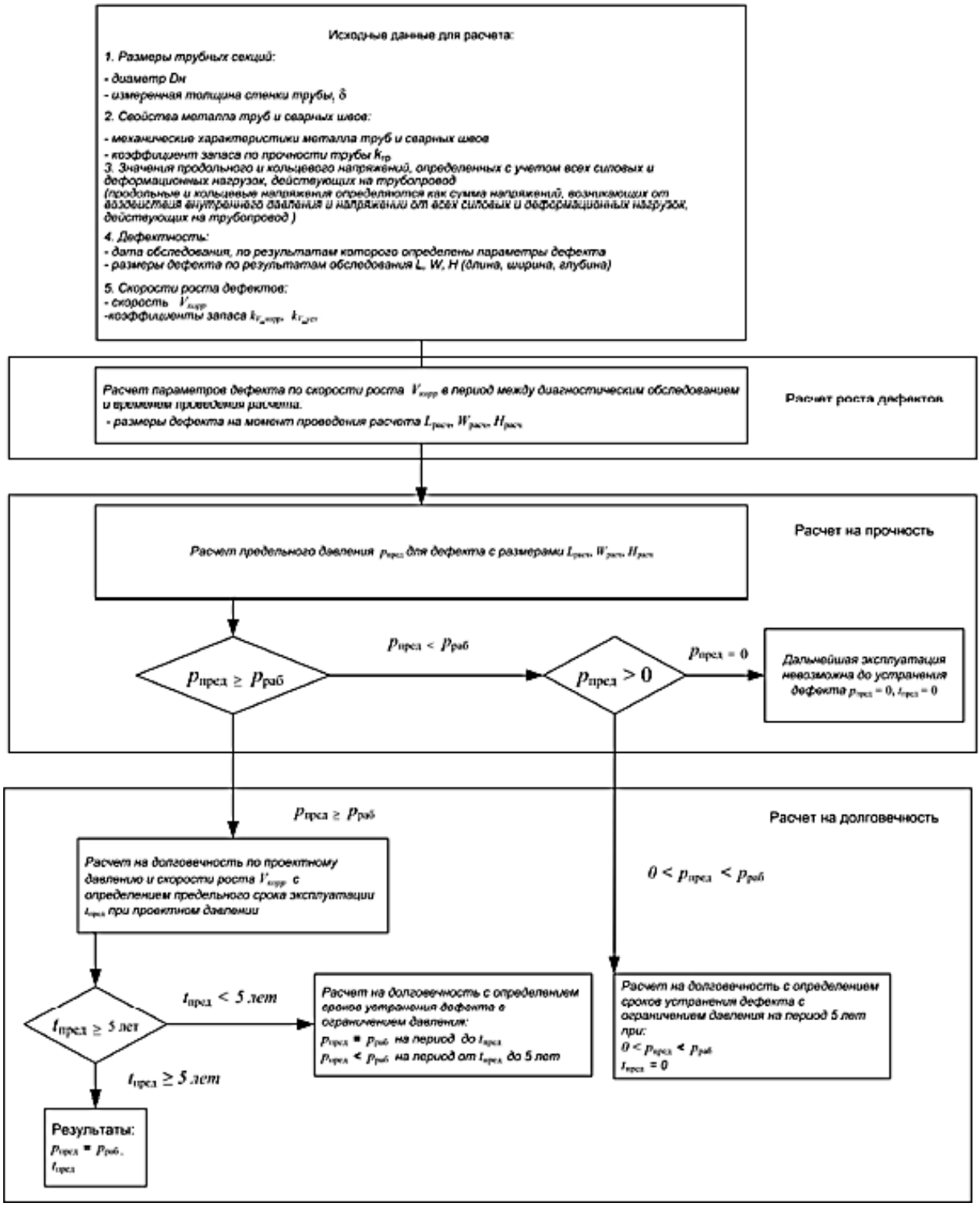

Рисунок 3 – Порядок выполнения расчётов на остаточный ресурс для труб с коррозионными дефектами потери металла

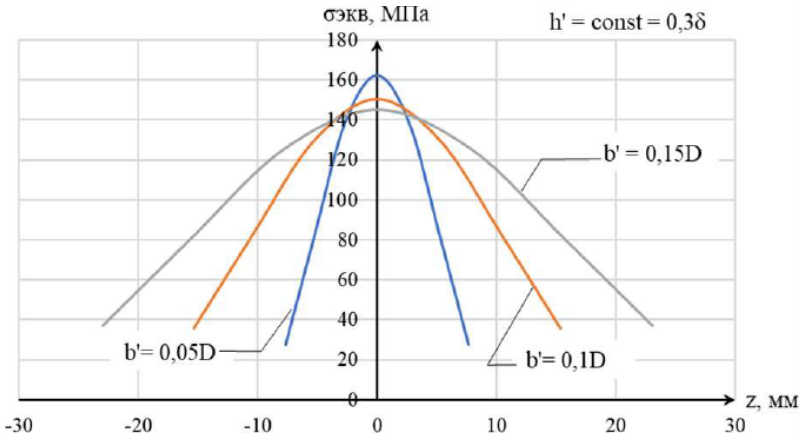

Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений по профилю коррозионного процесса в зависимости от его ширины

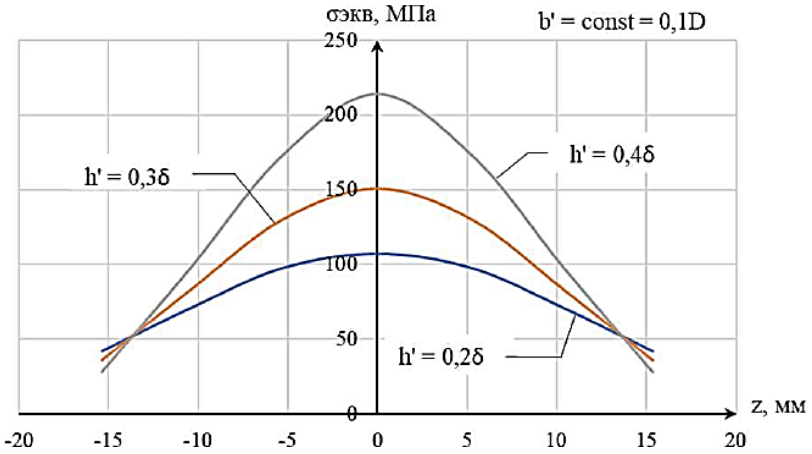

Рисунок 5 – Распределение эквивалентных напряжений по профилю коррозионного процесса в зависимости от его глубины

Расчёт напряжений в трубопроводе с использованием ПК ANSYS

При упругом нагружении множитель, отвечающий за деформационную составляющую, может быть принят равным единице в силу малости значений деформаций. Следовательно, при построении модели условно можно принять, что скорость развития коррозионного поражения трубопровода при его работе зависит только от силовых факторов.

В расчётах применяется следующий материал: сталь 17Г1С. Для данного материала предел прочности составляет 510 МПа, предел текучести 360 МПа. Окно задания параметров показано на рисунке 6.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m^-3		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
16	Strain-Life Parameters				
24	Tensile Yield Strength	360	MPa		
25	Compressive Yield Strength	360	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	510	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Рисунок 6 – Окно указания прочностных характеристик стали

Далее создаётся модель трубопровода типичного для нефтяного промысла типоразмера – 325 × 9. Избыточное давление равняется 3 МПа. Трубопровод считается закреплённым по торцам. Расчётная модель приведена на рисунке 7.

Для расчёта напряжений в участке развития коррозии проведена оценка неравномерности коэффициента двухосности по фронту коррозионного ручейка. Распределение коэффициента двухосности в упругой области донной части трубопровода показано на рисунке 8.

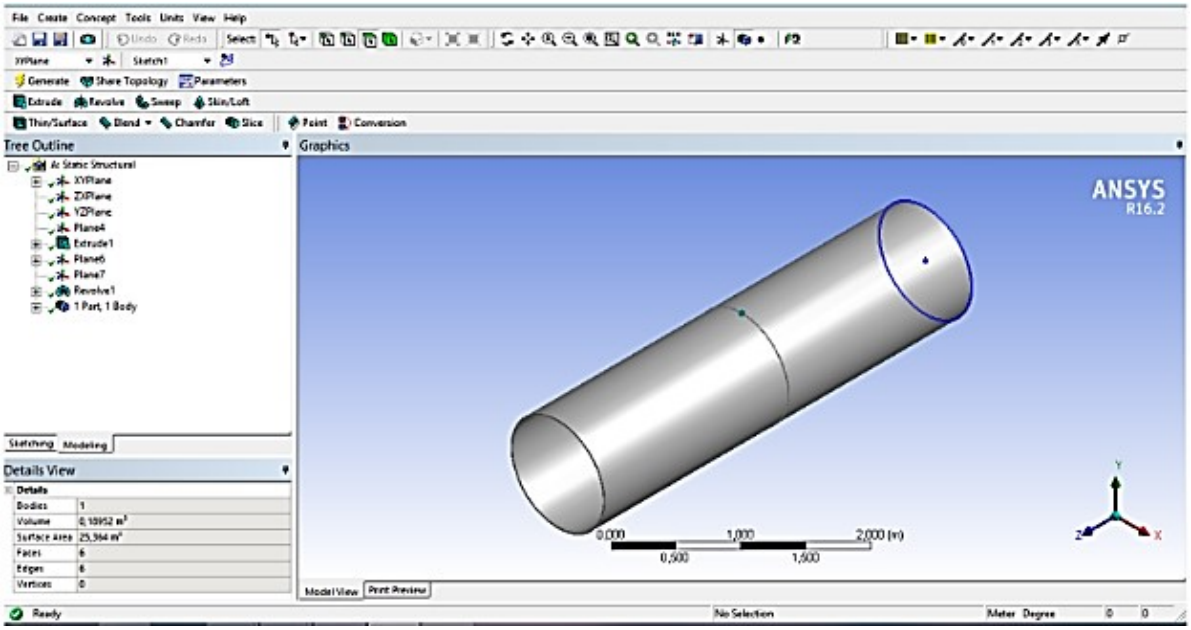

Рисунок 7 – Геометрическая модель трубопровода

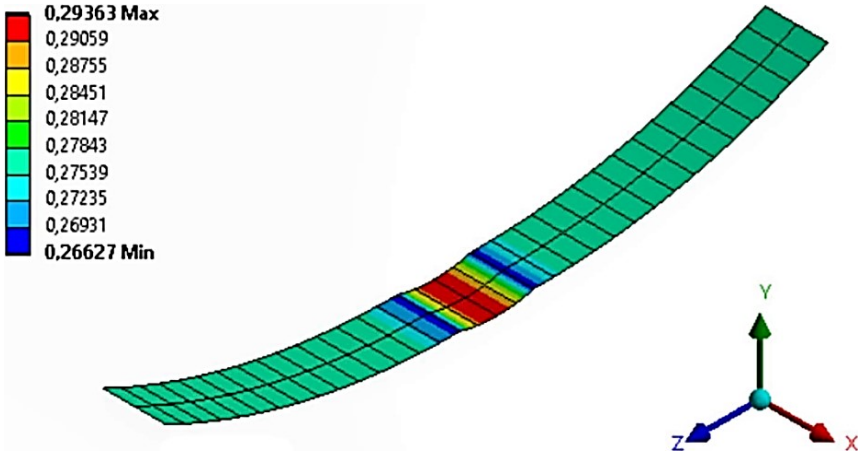

Рисунок 8 – Распределение коэффициента двухосности в упругой области

Видна неравномерность его распределения по фронту коррозионного ручейка: максимальные значения коэффициента достигаются вблизи нижней точки, минимальные – в его верхних точках.

Проанализировав расчётную формулу механохимического параметра, оказывающего влияние на скорость коррозии, установлено, что большие его значения характерны для донной части «ручейка», что на практике подтверждается образованием всё углубляющегося «ручейка». Графически данная зависимость приведена на рисунке 9.

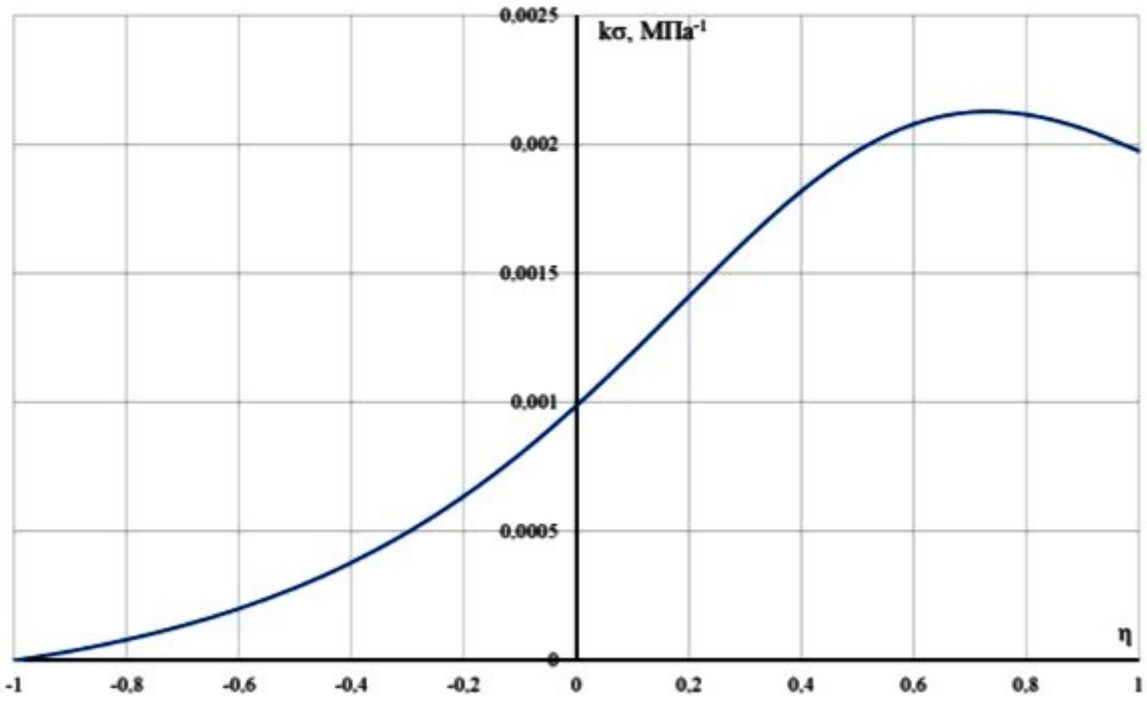

Рисунок 9 – Распределение силового механохимического параметра в зависимости от коэффициента двухосности

Для определения напряжений в случае присутствия коррозионной трещины выполнен расчёт напряжений для различных случаев глубины развития (1–4 мм):

1) при глубине трещины 1 мм предельное напряжение составило 387 МПа (рис. 10);

2) при глубине трещины 2 мм предельное напряжение составило 445 МПа (рис. 11);

3) при глубине трещины 3 мм предельное напряжение составило 561 МПа (рис. 12);

4) при глубине трещины 4 мм предельное напряжение составило 655 МПа (рис. 13).

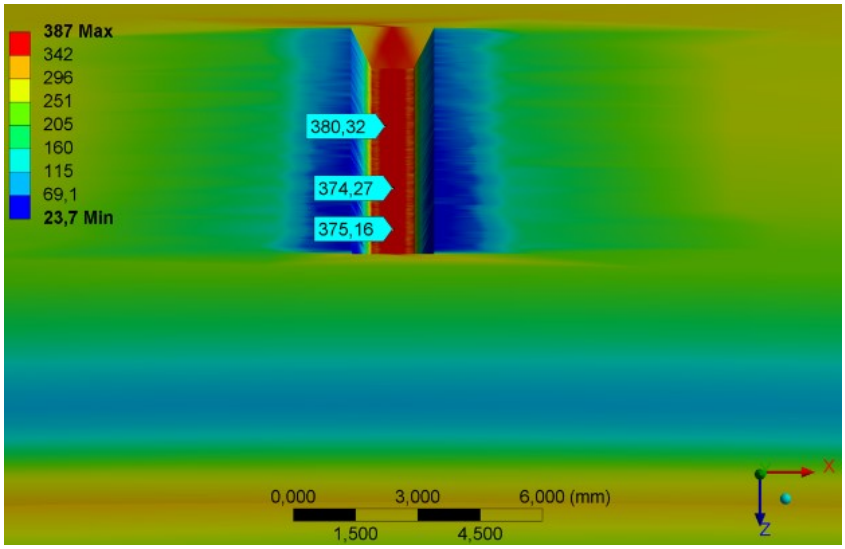

Рисунок 10 – Распределение эквивалентных напряжений при глубине трещины 1 мм, МПа

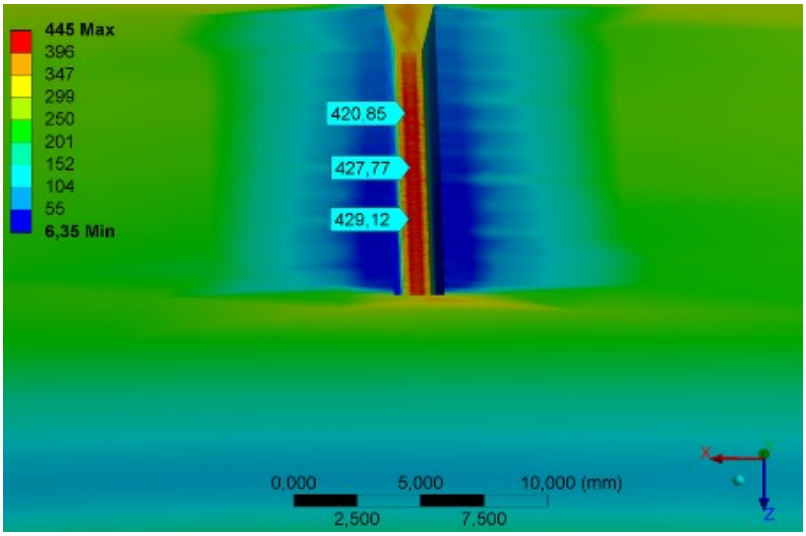

Рисунок 11 – Распределение эквивалентных напряжений при глубине трещины 2 мм, МПа

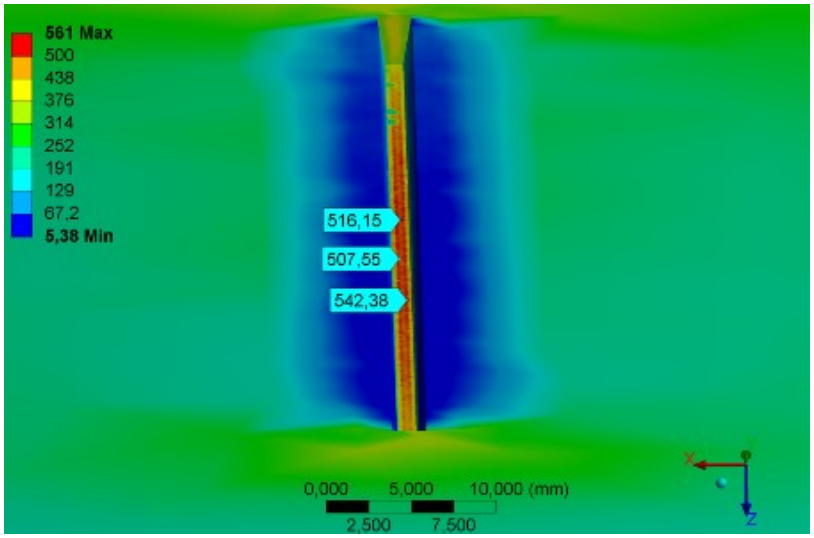

Рисунок 12 – Распределение эквивалентных напряжений при глубине трещины 3 мм, МПа

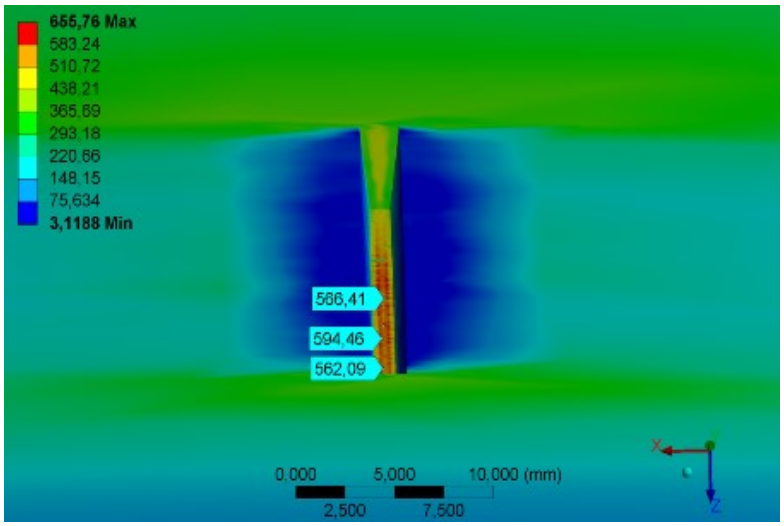

Рисунок 13 – Распределение эквивалентных напряжений при глубине трещины 4 мм, МПа

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при глубине трещины более 3 мм напряжения начинают превышать предел прочности – это может привести к разрушению трубопровода.

Оценка степени опасности стресс-коррозионных дефектов определяется неравенством по СТО Газпром 2-2.3-173 2007. Если фактический коэффициент запаса прочности по критическому напряжению превышает нормативный коэффициент запаса прочности по наибольшему давлению, то дефект является допустимым. В обратном же случае дефект классифицируют как недопустимый. Для определения коэффициента запаса применяется уравнение:

$$n_{зап} = \frac{p_{кр}}{p_{пр}}, \tag{2}$$

где $P_{кр}$ – критическое давление, МПа; $P_{пр}$ – предельное значение давления, МПа.

Коэффициент запаса прочности по критическому напряжению определяется в зависимости от длины трещины (в модели равняется 100 мм) по номограмме, приведённой на рисунке 14.

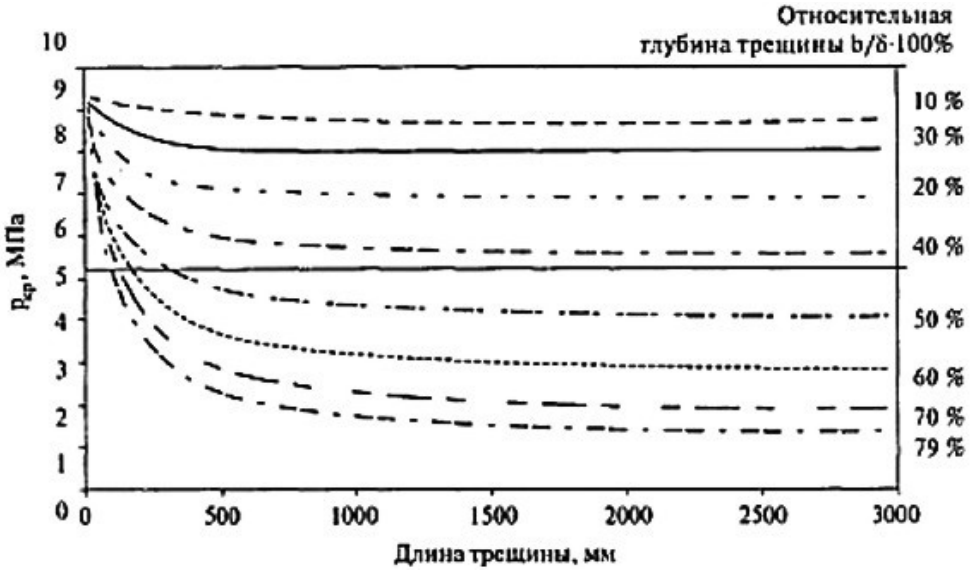

Рисунок 14 – Критическое давление в зависимости от длины трещины

Наибольшее давление связано со значениями кольцевых напряжений и определяется следующим выражением:

$$n_{\max} = \frac{p_{тек}}{p_{пр}}, \tag{3}$$

где *Ртек* – давление, соответствующее пределу текучести материала трубы, МПа;
Рпр – предельное значение давления, МПа.

В таблице 1 приведены вычисленные коэффициенты в зависимости от глубины трещины.

Таблица 1 – Оценка стресс-коррозионного дефекта

Глубина трещины, мм	$P_{кр}$, МПа	$n_{зап}$	n_{max}
1	9,1	1,65	1,3
2	8,0	1,45	
3	8,7	1,59	
4	7,1	1,29	

В ходе анализа установлено, что при глубине трещины 1 мм эквивалентные напряжения не достигают предела текучести. В промежутке глубины трещины между 1 и 3 мм наблюдается накопление пластической деформации. При глубине трещины более 3 мм эквивалентные напряжения превышают предел прочности.

Накопление пластических деформаций при растрескивании приводит к дальнейшему росту трещин. Несмотря на это, методика по оценке стресс-коррозионных дефектов не учитывает кинетику роста трещин. Из-за этого недопустимым дефектом была признана только трещина с глубиной 4 мм, хотя при данной глубине наблюдаются напряжения больше, чем предел прочности. Таким образом, нормативная методика оценки стресс-коррозионных дефектов не совсем точно определяет их допустимость / недопустимость, а это в свою очередь может приводить к аварийному выходу из строя эксплуатируемых магистральных газопроводов.

Зависимость максимального эквивалентного напряжения, возникающего в области коррозионного повреждения от его глубины, приведена на рисунке 15.

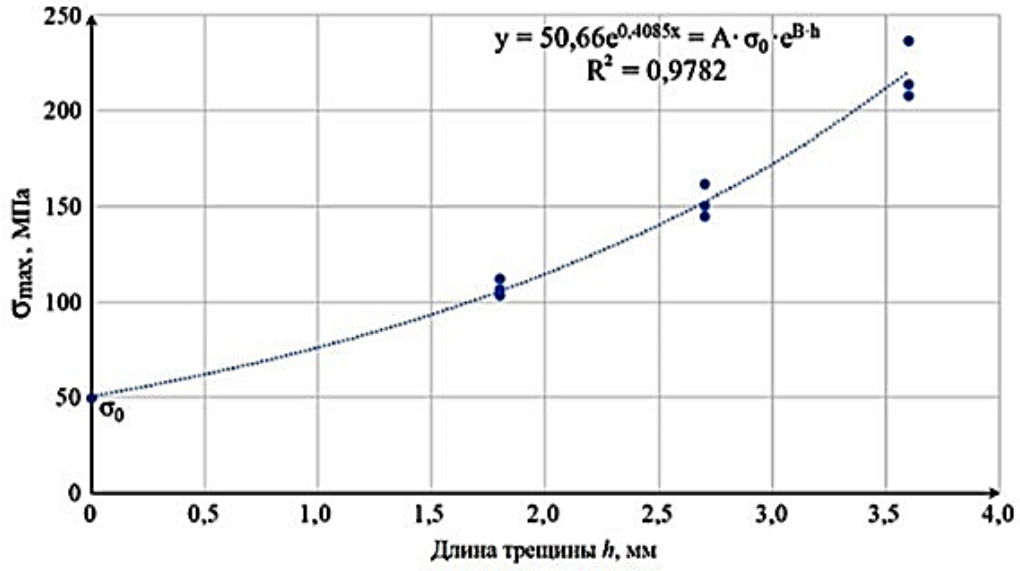

Рисунок 15 – Зависимость эквивалентного напряжения от длины трещины

Таким образом, для коррозионного процесса проведено моделирование распространения напряжений. В результате анализа модели можно сделать следующие выводы:

1) коррозионный дефект вида «ручеек», характеризуемый резким изменением остаточной толщины стенки трубы, способствует снижению несущей способности трубопровода;

2) методика расчёта ресурса трубопровода, предлагаемая ПАО «Газпром», отражает тенденцию роста процесса коррозии лишь в упругой постановке и требует дополнительного уточнения;

3) при использовании для расчёта нелинейной модели утонения стенки срок эксплуатации трубопровода отличается от срока эксплуатации, рассчитанного по линейной модели.

Литература

1. Эффективная защита сооружений от коррозии, новые методы / Н.А. Безрученко [и др.] // Приоритеты мировой науки. Новые горизонты: материалы I Международной научно-практической конференции (26 марта 2025 года, г. Краснодар). – Краснодар : Издательство: ИП Алзидан, 2025. – С. 50–55.
2. Горпинченко А.Н. Проведение исследований по измерению скорости коррозии в системе сбора газа Песцовой площади Уренгойского НГКМ / А.Н. Горпинченко, Н.Х. Жарикова, М.И. Самойлов // Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородно-

го сырья: тезисы докладов (15–16 ноября 2022 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – 45 с.
3. Анализ результатов коррозионного мониторинга Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко [и др.] // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2023: материалы XXIV Международной молодёжной научной конференции (30-31 марта 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2023. – С. 352–359.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Горпинченко А.Н. Подбор ингибитора коррозии с учетом свойств добываемой жидкости / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова, П.П. Порывкин // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 1. – С. 150–153.
8. 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.
9. Горпинченко А.Н. Анализ методов борьбы с коррозионной агрессией в условиях ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 3. – С. 101–113.
10. Горпинченко А.Н. Анализ типов коррозии нефтегазопромыслового оборудования // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 4. – С. 142–148.
11. Классификация коррозионных процессов / Г.И. Кореновский [и др.] // REFERATOTECH: материалы II Международной научно-практической конференции (23 октября 2021 года, г. Краснодар) : в 2 т. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – Т. 2.– С. 17–22.
12. Поварова Л.В. Анализ современных методов защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 125–129.
13. 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.
14. Поварова Л.В. Причины коррозии нефтепромысловых трубопроводов и способы их защиты / Л.В. Поварова, М.А. Самарин, Р.А. Тараник // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2. – С. 32–39.
15. 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.
16. 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.
17. Разработка технического решения по предупреждению углекислотной коррозии / А.В. Шептухин [и др.] // Рассохинские чтения: материалы Международной конференции (02–03 февраля 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2023. – С. 119–126.
18. Состояние изученности проблемы углекислотной коррозии на примере Уренгойского месторождения / А.В. Шептухин [и др.] // Булатовские чтения. – 2023. – Т. 1. – С. 307–315.

References

1. Effective Corrosion Protection for Structures: New Methods / N.A. Bezruchenko [et al.] // Priorities of Global Science. New Horizons: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference (March 26, 2025, Krasnodar). – Krasnodar : IP Alzidan, 2025. – P. 50–55.
2. Gorpinchenko A.N. Research on Corrosion Rate Measurement in the Gas Gathering System of the Pestsovoye Field (Urengoy Oil, Gas, and Condensate Field) / A.N. Gorpinchenko, N.Kh. Zharikova, M.I. Samoylov // Breakthrough Technologies in the Exploration, Development, and Production of Hydrocarbon Resources: Abstracts (November 15–16, 2022, Saint Petersburg). – SPb. : Saint Petersburg Mining University, 2022. – 45 p.

3. Analysis of Corrosion Monitoring Results at the Urengoy Oil, Gas, and Condensate Field / A.N. Gorpinchenko [et al.] // SEVERGEOEKOTEKH-2023: Proceedings of the XXIV International Youth Scientific Conference (March 30–31, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2023. – P. 352–359.
4. Gorpinchenko A.N. Evaluation of Corrosion Control Methods in Oil and Gas Gathering and Treatment Systems During Field Development in Western Siberia // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 3. – P. 119–134.
5. Gorpinchenko A.N. Calculation of Carbon Dioxide Corrosion Rates for Downhole Equipment Using Various Methodologies / A.N. Gorpinchenko, A.A. Melnikova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 133–146.
6. Gorpinchenko A.N. Evaluating the Effectiveness of Inhibition Technology for Gas and Gas-Condensate Wells Subject to Carbon Dioxide Corrosion / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 147–161.
7. Gorpinchenko A.N. Selection of a Corrosion Inhibitor Based on the Properties of the Produced Fluid / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova, P.P. Poryvkin // Bulatov Readings. – 2025. – Vol. 1. – P. 150–153.
8. Gorpinchenko A.N. Analysis of corrosion monitoring at a section of the Urengoy oil, gas, and condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 237–252.
9. Gorpinchenko A.N. Analysis of methods for combating corrosive attack in the Achimov deposits of the Urengoy oil, gas, and condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 3. – P. 101–113.
10. Gorpinchenko A.N. Analysis of corrosion types in oil and gas field equipment // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 4. – P. 142–148.
11. Classification of Corrosion Processes / G.I. Korenovsky [et al.] // REFERATOTECH: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (October 23, 2021, Krasnodar) : in 2 vol. – Krasnodar : Publishing House «Yug» LLC, 2022. – Vol. 2. – P. 17–22.
12. Povarova L.V. Analysis of Modern Methods for Protecting Oilfield Equipment from Corrosion / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 125–129.
13. Povarova L.V. Corrosion of Pipelines and Oil and Gas Equipment / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 130–135.
14. Povarova L.V. Causes of corrosion in oilfield pipelines and methods for their protection / L.V. Povarova, M.A. Samarin, R.A. Taranik // Bulatov Readings. – 2021. – Vol. 2. – P. 32–39.
15. Savenok O.V. Specifics of operating oil and gas wells under conditions of high corrosivity / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 155–170.
16. Savenok O.V. Analysis of corrosion-mechanical failures of structural materials used in oil and gas field equipment / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko, P.P. Poryvkin // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 3. – P. 133–147.
17. Development of a technical solution for the prevention of carbon dioxide corrosion / A.V. Sheptukhin [et al.] // Rassokhin Readings: Proceedings of the International Conference (February 2–3, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2023. – P. 119–126.
18. Current state of research on the problem of carbon dioxide corrosion: A case study of the Urengoy field / A.V. Sheptukhin [et al.] // Bulatov Readings. – 2023. – Vol. 1. – P. 307–315.

УДК 622.243.27

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЗАРЕЗКИ БОКОВОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТВОЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ОБЪЕКТА ЯК-III-VII НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

♦♦♦♦♦

JUSTIFICATION FOR THE USE OF HORIZONTAL SIDETRACKING TECHNOLOGY TO IMPROVE THE DEVELOPMENT EFFICIENCY OF THE YAK-III-VII RESERVOIR OF THE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD

Петрушин Евгений Олегович
мастер по добыче нефти, газа и конденсата
цех по добыче нефти и газа № 4,
Мурьяунское месторождение
НГДУ «Нижнесортымскнефть»
eopetrushin@yahoo.com

Аннотация. Зарезка бокового ствола скважины позволяет восстановить первоначальный дебит за счёт вовлечения в разработку продуктивных нефтенасыщенных толщин. В отличие от строительства новой скважины зарезка бокового ствола позволяет осуществить проходку в наиболее труднодоступные и геологически сложные зоны. В статье на основе анализа разработки месторождения рассмотрена возможность повышения эффективности применения технологии зарезки бокового ствола на объекте Як-III-VII нефтегазоконденсатного месторождения. Применение технологии направлено на оптимизацию разработки и получение дополнительного притока флюида.

Ключевые слова: зарезка бокового горизонтального ствола; выработка остаточных запасов; выбор скважины-кандидата; характеристики горизонтального ствола; боковой ствол с горизонтальным окончанием; технологическая эффективность ЗБС; моделирование технологии ЗБС.

Petrushin Evgeniy Olegovich
Oil, Gas, and Condensate
Production Supervisor
Oil and Gas Production Facility № 4,
Muryaunskoye Field
Nizhnesortymskneft Oil
and Gas Production Division (NGDU)
eopetrushin@yahoo.com

Annotation. Sidetracking enables the restoration of initial production rates by bringing productive, oil-saturated intervals into development. Unlike drilling a new well, sidetracking allows for access to the most inaccessible and geologically complex zones. Based on an analysis of field development, this article examines the potential to enhance the efficiency of sidetracking technology at the Yak-III-VII reservoir of the oil, gas, and condensate field. The application of this technology aims to optimize development and secure additional fluid inflow.

Keywords: sidetracking a horizontal lateral; recovery of remaining reserves; selection of a candidate well; horizontal lateral characteristics; lateral with a horizontal section; operational efficiency of sidetracking; modeling of sidetracking technology.

Общие сведения о месторождении

Рассматриваемое нефтегазоконденсатное месторождение (далее НГКМ) в административном отношении расположено на территории Туруханского и Дудинского районов Таймырского муниципального района Красноярского края [1].

Месторождение расположено в пределах Пур-Тазовской нефтегазоносной области.

К настоящему времени промышленная нефтегазоносность Пур-Тазовской НГО доказана открытием залежей в отложениях нижнего и верхнего мела (валанжин, альп-сеноман), которые здесь являются регионально нефтегазоносными. В разрезе нижнего мела [2] выделены нижнехетская, суходудинская, яковлевская и нижняя часть долганской свиты. Промышленные притоки нефти и газа на месторождении связаны с продуктивными пластами долганской свиты (пласт Дл-I-III), яковлевской (пласты Як-I и Як-II-IV) и нижнехетской (пласты Нх-I и Нх-III-IV).

В геологическом строении НГКМ участвуют метаморфические образования архейско-среднепротерозойского возраста, осадочные образования ранне-среднепозднепалеозойского и мезозойско-кайнозойского возраста. Скважины месторождения вскрывают юрские, меловые и четвертичные отложения.

Месторождение состоит из нефтяных, газовых и нефтегазовых залежей, которые представлены эксплуатационными объектами – Сд-IX, Нх-III-IV, Нх-I, Як-III-VII и Дл-I-III.

Профиль пластов месторождения, имеющих потенциал нефтегазоносности, приведён на рисунке 1.

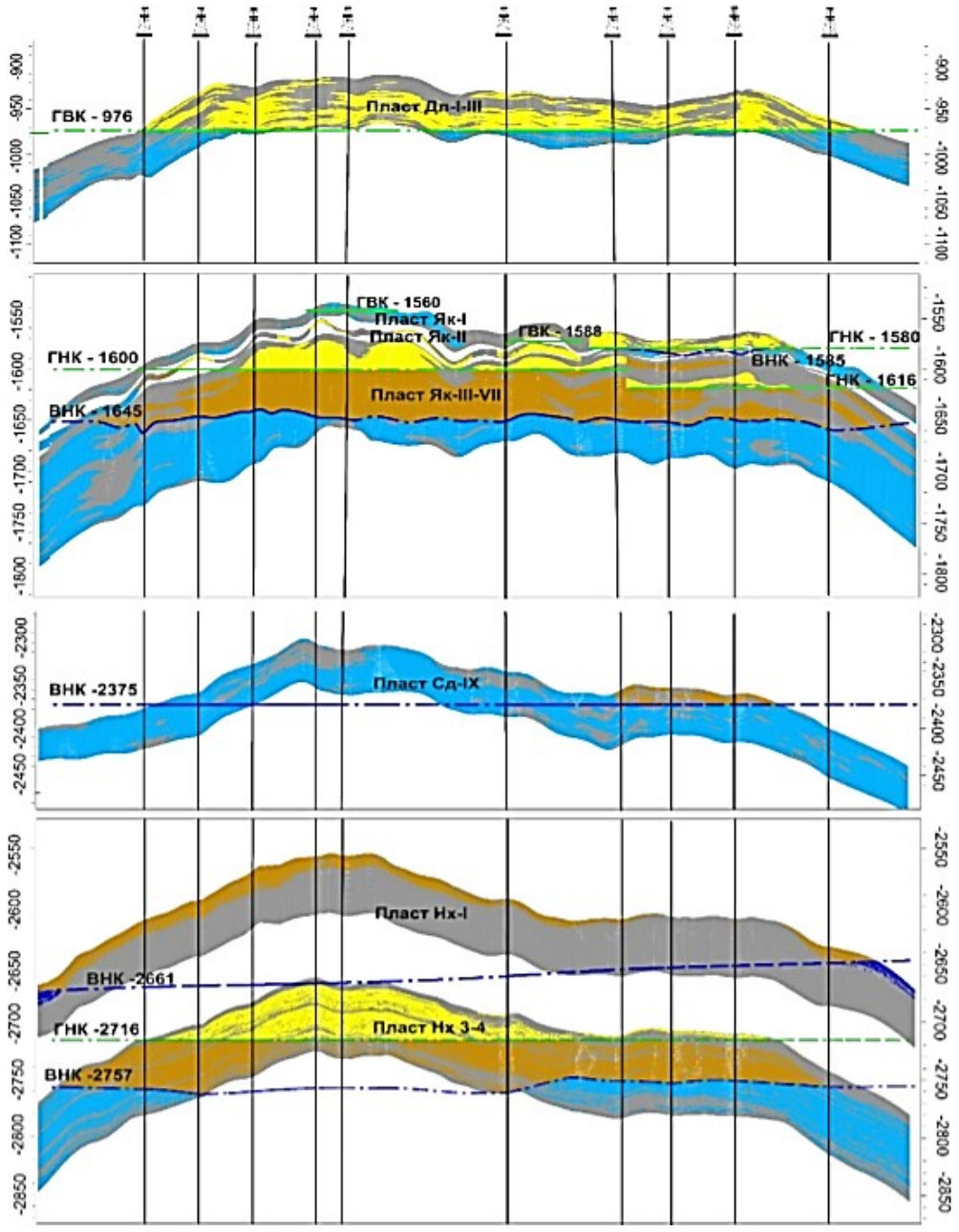

Рисунок 1 – Профиль пластов НГКМ, имеющих потенциал нефтегазоносности

Физико-химические свойства и состав нефти НГКМ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства и состав нефти

Параметр	Продуктивные пласты			
	Як-III-VII	Нх-I	Нх-III-IV	Сд-IX
1	2	3	4	5
Давление насыщения, МПа	15,9	25,4	27,1	23,65
Газосодержание, $м^3/т$	61	202	211	107
Объёмный коэффициент, доли ед.	1,12	1,422	1,458	1,2
Плотность нефти, $кг/м^3$ в пластовых условиях в стандартных условиях	 850 902	 693 823	 688 845	 780 860

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
Динамическая вязкость, мПа · с	8,9	0,7	0,7	2,7
Коэффициент сжимаемости $1 \cdot 10^{-4}$, 1/МПа	7	11,2	18,3	11,5
Содержание массовое, % серы смол парафина	 0,21 9,59 1,5	 0,13 5,11 4,3	 0,112 6,51 3,3	 0,08 3,14 2,26

Нефть залежи пластов Як-III-VII является битуминозной, так как её плотность составляет 902 кг/м^3, нефть смолистая (9,59 %), малосернистая (0,21 %) и парафиновая (1,5 %).

По результатам бурения и ввода в эксплуатацию скважин, а также исследований ГИС, ГДИС и керна выполнен подсчёт запасов нефти, растворённого газа, газа газовой шапки, конденсата и ТЭО КИН.

Сведения по запасам нефти, газа и конденсата по продуктивным пластам и общему количеству по месторождению, числящиеся на государственном балансе РФ по состоянию на 01.01.2025 г., приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Запасы нефти, газа и конденсата, числящиеся на государственном балансе РФ

Категория	Начальные запасы нефти, млн тонн				Начальные запасы конденсата, млн тонн				Начальные запасы газа (растворённого + свободного + газовой шапки), млрд м^3
	геологические	извлекаемые	КИН	КИН текущий	геологические	извлекаемые	КИК	КИК текущий	извлекаемые
Дл-I-III	–	–	–	–	–	–	–	–	47,191
Як-I	4,070	1,880	0,462	0	–	–	–	–	3,043
Як-II	9,274	4,284	0,462	0	–	–	–	–	4,384
Як-III-VII	649,880	300,245	0,462	0,053	–	–	–	–	32,188
Сд-IX	7,141	2,307	0,323	0	–	–	–	–	0,410
Нх-I	134,070	49,742	0,371	0,024	–	–	–	–	10,063
Нх-III-IV	330,948	134,696	0,407	0,040	9,356	6,801	0,727	0,041	77,815
Итого по месторождению	1135,383	493,154	0,434	0,046	9,356	6,801	0,727	0,041	127,480

По извлекаемым запасам месторождение относится к уникальным.

Анализ текущего состояния разработки месторождения

По состоянию на 01.01.2025 г. накопленная добыча нефти составляет 225,651 млн тонн, жидкости – 970,997 млн тонн. Основная добыча нефти приходится на объект Як-III-VII [3] и НХ-I [4], из которых отобрано по 34,2 % и 32,6 % всей накопленной добычи при доле извлекаемых запасов категории А + В1 29,2 % и 39,9 % соответственно. Обводнённость продукции – 95,8 %. Накопленный водонефтяной фактор – 3,3. Закачано в залежи пластов 1112,066 млн м^3 воды, накопленная компенсация отборов закачкой – 107,6 %.

В 2024 году по месторождению отобрано 1,507 млн тонн нефти, годовая добыча жидкости – 35,685 млн тонн, средний дебит по нефти – 9,2 тонн/сут.; жидкости – 217,1 тонн/сут.; закачка воды – 35,166 млн м^3, текущая компенсация отбора закачкой – 98,6 %.

В период 2021-2024 гг. отклонения фактической добычи нефти от проектного уровня по месторождению в целом не превышали допустимых (±27 %) значений (2021 год – 2,9 %, 2022 год – 9,5 %, 2023 год – 11,0 %, 2024 год – 10,1 %). Отставание фактических уровней добычи от проектных обусловлено недостижением проектных дебитов по нефти и меньшим фондом добывающих скважин.

Следует отметить, что по рассматриваемому объекту Як-III-VII проектный уровень скважин совпадает с фактическим, что свидетельствует о стабильности проведения геолого-технических мероприятий и об их успешности. Однако ввиду падения уровня добычи и роста обводнённости по добывающим скважинам следует отметить тот факт, что дальнейшая перспектива поддержания добычи на стабильном уровне заключается не во введении новых скважин и уплотнении сетки, а в проведении геолого-технических мероприятий на имеющихся.

Анализируя проектные и фактические показатели разработки рассматриваемого объекта, можно сделать вывод о том, что, несмотря на стабильность текущего коэффициента извлечения нефти, наблюдается превышение фактической обводнённости по сравнению с проектной. Это свидетельствует о достаточно эффективной выработке текущих запасов. Дальнейший процесс разработки может быть связан с вовлечением ранее не вовлечённых в разработку запасов. Успешность их вовлечения во многом зависит от грамотного подбора того или иного геолого-технического мероприятия.

Нефтяная залежь пласта Як-III-VII по состоянию на 01.01.2025 г. выработана на 67,1 % от начальных извлекаемых запасов нефти при сравнительно невысоком накопленном ВНФ = 3,3. Отбор нефти составляет 32,6 % от накопленной добычи нефти по месторождению при доле извлекаемых запасов категории АВ1 39,9 %.

Остаточные извлекаемые запасы нефти по пласту Як-III-VII составляют 60 млн тонн, на одну действующую добывающую скважину приходится очень большой объём остаточных запасов нефти – порядка 102,6 тыс. тонн. В настоящее время темпы извлечения запасов низкие – 0,8 % от начальных и 2,4 % от текущих извлекаемых запасов нефти.

Разработка рассматриваемого объекта характеризуется значительными осложнениями [5]. Несмотря на то, что преобладает превышение фактических показателей над проектными, текущий потенциал добычи характеризуется снижением по причине роста обводнённости скважинной продукции, сложного геологического строения его северной части. Сравнение проектных и фактических показателей разработки позволяет сделать вывод о том, что любое отклонение от проектного показателя обусловливается сложностью геологического строения, а также текущим уровнем обводнённости.

На текущий момент времени достижение утверждённого КИН существующим фондом скважин невозможно, необходимо предусмотреть бурение новых скважин и зарезку боковых стволов для вовлечения в разработку остаточных запасов [6–8].

Основной проблемой разработки пласта Як-III-VII является выработка значительных трудноизвлекаемых запасов нефти, сосредоточенных в сильнообводнённых частях коллектора. Анализ таких показателей, как величина остаточных запасов, кратности запасов, величина остаточных запасов на одну действующую скважину, свидетельствует, что при сложившейся системе разработки извлечение утверждённых запасов нефти пласта Як-III-VII невозможно без вовлечения в разработку трудноизвлекаемых остаточных запасов.

Обоснование проведения зарезки бокового ствола с точки зрения выработки запасов

Для проведения мероприятий по повышению эффективности разработки необходимо произвести обоснование внедрения того или иного мероприятия с точки зрения множества факторов. Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых остаточных запасов невозможно без анализа текущих отборов и энергетического состояния залежи – это позволит сделать выводы о наличии трудноизвлекаемых запасов, что в дальнейшем существенно повлияет на выбор мероприятия.

Процент выработки запасов по рассматриваемому пласту Як-III-VII не превышает 21,6 %. При этом фактический уровень введённых в эксплуатацию скважин соответствует проектному. Это свидетельствует о наличии невыработанных остаточных запасов, выработка которых возможна при проведении геолого-технических мероприятий на имеющихся скважинах.

Наиболее эффективным мероприятием, направленным на вовлечение в разработку остаточных запасов, может выступать зарезка бокового ствола [9]. Одним из ключевых аспектов, влияющих на выбор данного геолого-технического мероприятия, является наличие остаточных трудноизвлекаемых запасов.

На рассматриваемом объекте имеется наклонно-направленная скважина № 223, эксплуатация которой стала нерентабельной ввиду падения уровня добычи и высокого уровня обводнённости. При этом скважина расположена в зоне невыработанных остаточных запасов, сосредоточенных в зоне низкой проницаемости и высокой геологической неоднородности. На рисунке 2 приведена карта распределения проницаемости рассматриваемой залежи по её геологическому разрезу.

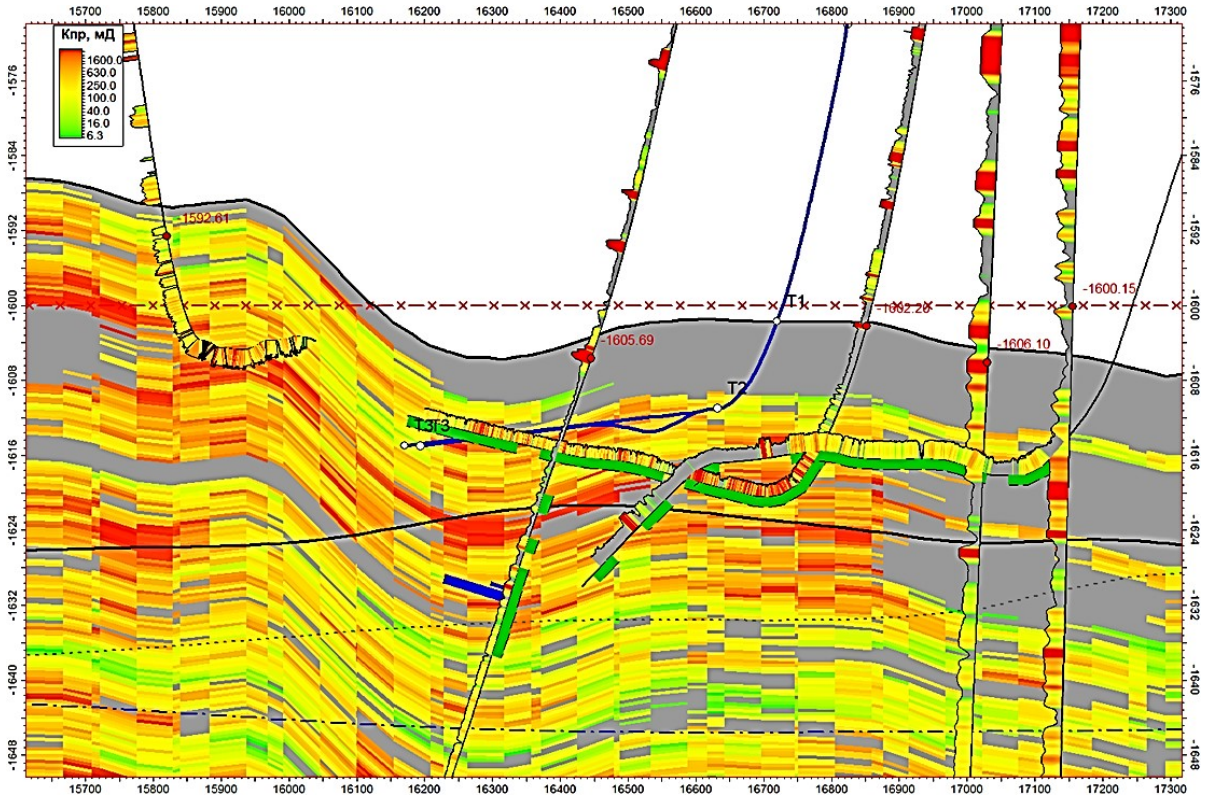

Рисунок 2 – Распределение проницаемости по геологическому разрезу пласта Як-III-VII

Как видно из рисунка 2, вдоль разреза имеет место высокая неоднородность по проницаемости, в частности, в зоне предполагаемого горизонтального ствола. Для наглядности проектный ствол представлен в виде линии синего цвета. Следует отметить, что околоскважинный участок расположен в зоне с низкой проницаемостью. Кроме того, при выборе траектории учитывается расположение ствола, которое определяется с учётом взаимного расположения относительно других скважин [10]. Однако данных для выбора пилотного участка по карте распределения проницаемости недостаточно. Для этого на рисунках 3 и 4 приведены карты текущих отборов по карте остаточных давлений и карте изобар соответственно.

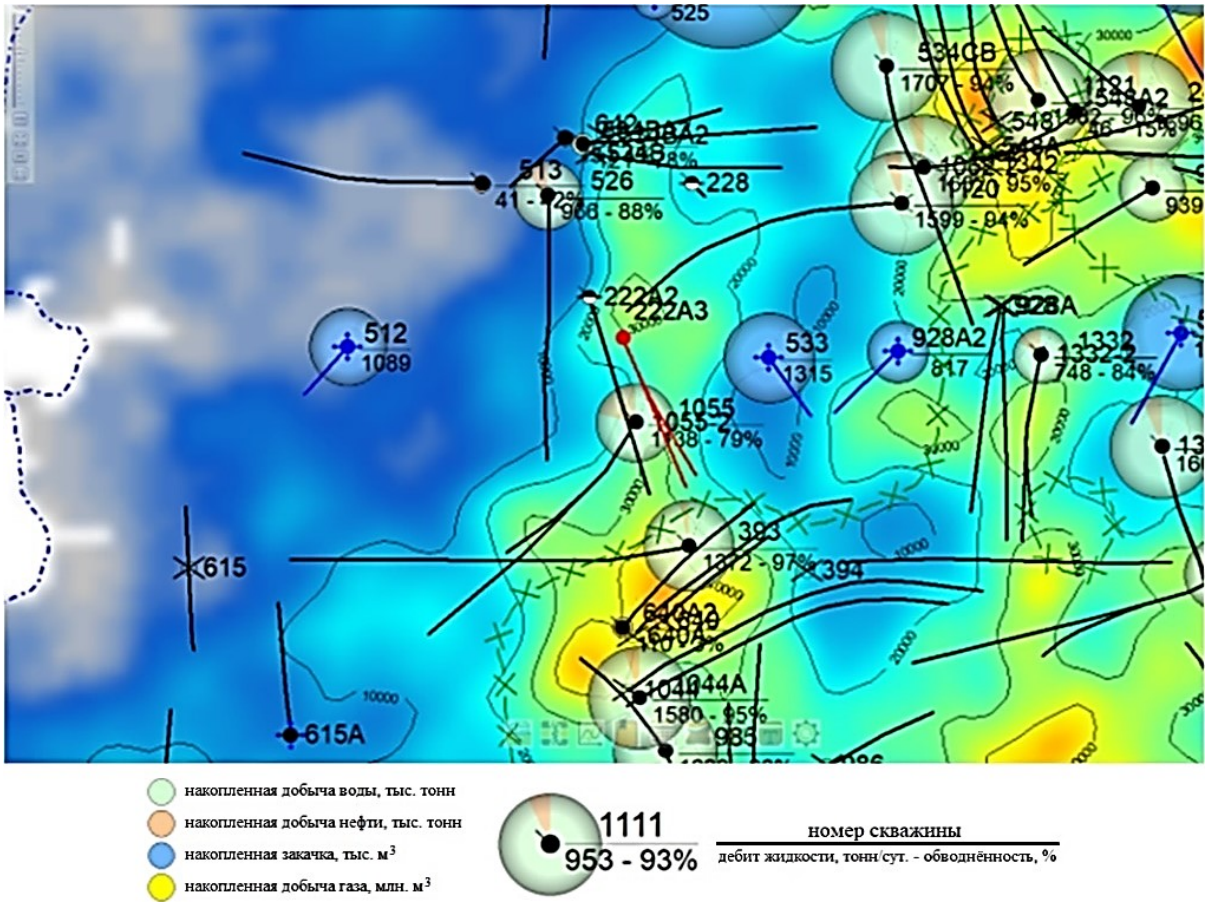

Рисунок 3 – Карта текущих отборов по карте остаточных давлений

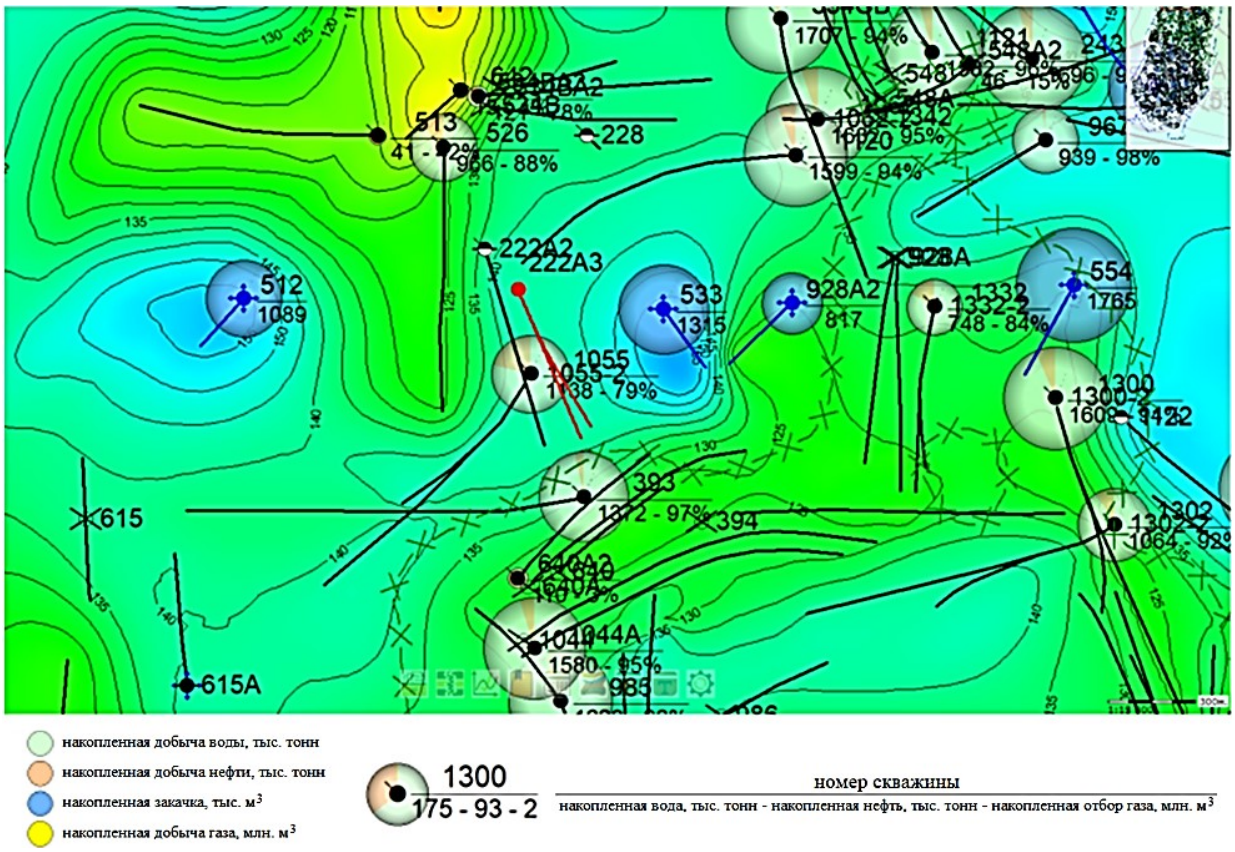

Рисунок 4 – Карта текущих отборов на карте изобар

Карты демонстрируют текущее энергетическое состояние залежи с учётом текущей разработки объекта. В зоне расположения предполагаемого ствола, согласно картам изобар, сосредоточены линии тока, по которым будет происходить дренирование флюидов к горизонтальному стволу. Имеющиеся остаточные давления свидетельствуют о возможной высокой эффективности зарезки бокового ствола. Объясняется это тем, что зона, характеризующаяся низкой проницаемостью, содержит в себе остаточные запасы, которые при грамотном подходе и подборе траектории зарезки бокового ствола могут быть извлечены из пласта. При этом удельное количество извлекаемых запасов будет превышать значение при разработке залежи вертикальными и наклонно-направленными скважинами. Объясняется это увеличением зоны дренирования за счёт большой протяжённости горизонтального ствола по продуктивному пласту.

Выбор скважины-кандидата для проведения зарезки бокового ствола

На основании анализа проектных документов сделан вывод о том, что на действующем фонде скважин имеется успешный опыт проведения операции зарезки боковых стволов. Таким образом, в качестве способа повышения эффективности разработки объекта Як-III-VII рекомендуется применение технологии зарезки бокового ствола на скважине, выведенной из бездействующего фонда. Далее выполнен подбор скважины-кандидата [11, 12].

Рациональная область применения технологии:

- бездействующие скважины в результате сложной аварии с подземным оборудованием;
- скважины с дефектами в эксплуатационной колонне (слом, смятие или смещение), не поддающимися исправлению;
- выбывшие из эксплуатации скважины вследствие нарушения призабойной зоны, восстановить которую известными способами невозможно;
- скважины, в которых при опробовании произошли прорывы высоконапорных подошвенных вод, неподдающихся изоляции;
- расположение на участках, где по условиям, состоянию разработки пласта и экологическим соображениям бурить новые скважины нецелесообразно.

Остаточные запасы – это главный ориентир при забуривании боковых стволов, успешность этого метода зависит от правильности определения местоположения остаточных запасов и их величины.

При выборе скважины для проведения технологии выделяется набор факторов, характеризующих геологические, технические и технологические условия проведения мероприятия. Таким образом, выделяются следующие критерии отбора:

1. *Геологические*:

- эффективная нефтенасыщенная толщина должна быть не меньше 2,5 м, чем мощнее нефтенасыщенный пласт, в который проводят забуривание, тем выше вероятность расположить его оптимально;
- между водо- и нефтенасыщенными коллекторами должен быть непроницаемый экран;
- на наиболее возможном дальнем расстоянии от ВНК должен формироваться горизонтальный ствол скважины, чтобы обеспечить недопущение прорыва воды;
- естественная проницаемость пласта: при небольшой проницаемости пласта коэффициент охвата в случае бурения вертикального ствола мал, поэтому бурение бокового горизонтального ствола на порядок повышает производительность скважины;
- неоднородность продуктивных пластов по площади и разрезу: неоднородность продуктивного пласта снижает его эффективную нефтенасыщенную толщину.

2. *Технологические*:

- плотность запасов: включает в себя нефтенасыщенность коллектора, его пористость, а также площадь нефтеносности, и позволяет оценить удельные запасы нефти в определённом объёме породы;
- от выработки запасов промышленного объекта, на который осуществляется бурение горизонтального ствола, а также от условий их выработки по площади и разрезу зависят возможные технико-экономические показатели;
- текущее состояние разработки объекта: текущее пластовое и забойное давление, дебиты скважин на перспективных участках залежи, плотность сетки скважин.

3. *Технические*:

- герметичность эксплуатационной колонны и цементного камня за колонной;
- длина и диаметр горизонтального ствола: от длины и диаметра горизонтального ствола зависит площадь фильтрации добываемой жидкости, степень охвата объекта;
- наличие зон осложнений в интервале забуривания и бурения БГС;

4. *Экономические*:

- минимальные затраты на бурение.

Выбор скважины-кандидата необходимо начать с определения перспективного нефтенасыщенного участка. Так, на рисунке 5 приведена карта нефтенасыщенных толщин объекта Як-III-VII.

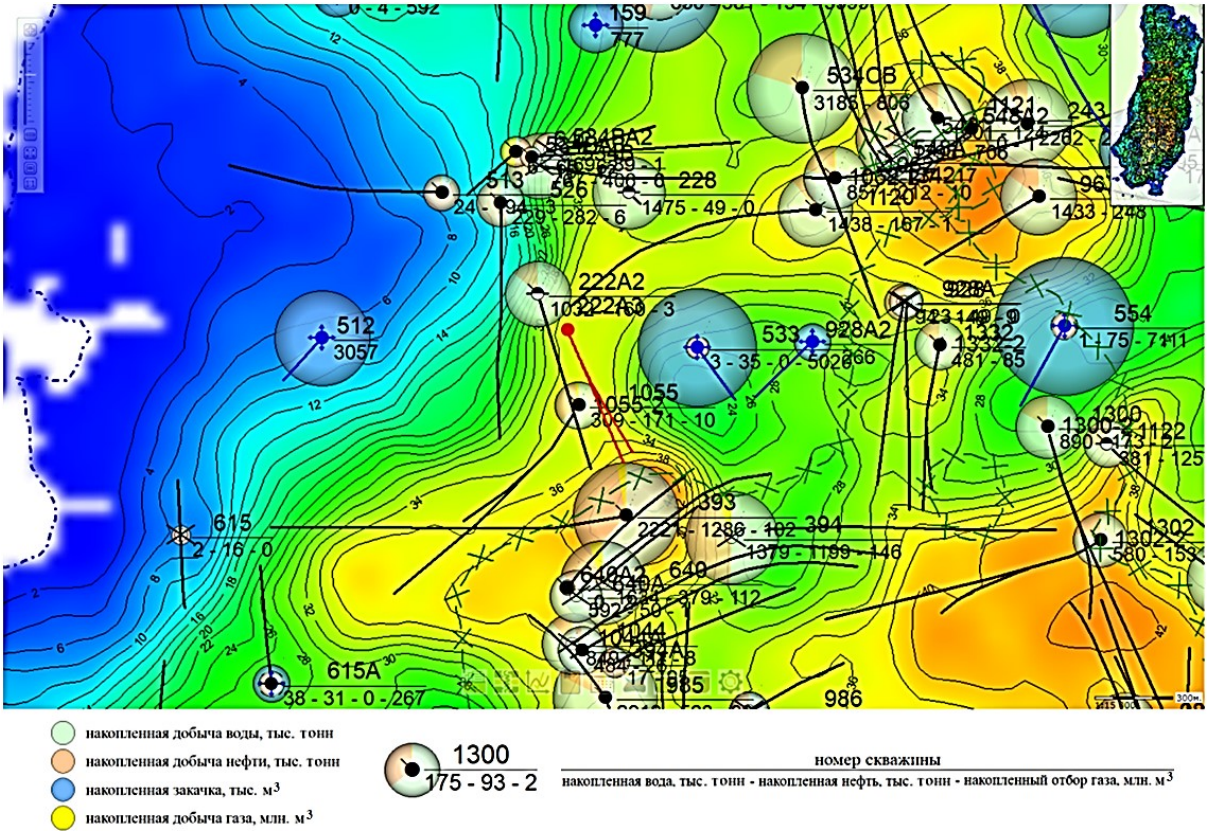

Рисунок 5 – Карта нефтенасыщенных толщин рассматриваемого объекта

Исходя из рисунка, можно сделать вывод о том, что в районе выведенной из эксплуатации вертикальной добывающей скважины № 222 сосредоточены невыработанные остаточные запасы. Следует отметить, что скважина удовлетворяет граничным критериям применимости технологии зарезки бокового ствола. Предполагаемая операция позволит вовлечь продуктивные зоны с содержащимися в них остаточными запасами, что позволит осуществлять разработку данного объекта без роста уровня обводнённости [13, 14].

Таким образом, в ходе соотношения граничных критериев применимости технологии и имеющихся перспективных скважин для проведения операции зарезки бокового ствола нами выбрана скважина № 222 20 куста. Данная скважина находится в бездействующем фонде по причине высокого уровня обводнённости, достигнутого во время эксплуатации вертикального ствола скважины. В итоге предполагаемая зарезка бокового ствола позволит осуществлять эксплуатацию продуктивной нефтенасыщенной зоны, что позволит повысить эффективность эксплуатации как скважины, так и рассматриваемого объекта в целом.

На рисунке 6 приведена проектная траектория зарезаемого бокового ствола для выбранной скважины на геологическом разрезе вдоль профиля проектного ствола с

учётом нефтенасыщенности, на рисунке 7 – проектная траектория зарезаемого бокового ствола для выбранной скважины на геологическом разрезе вдоль профиля проектного ствола скважины с учётом проницаемости.

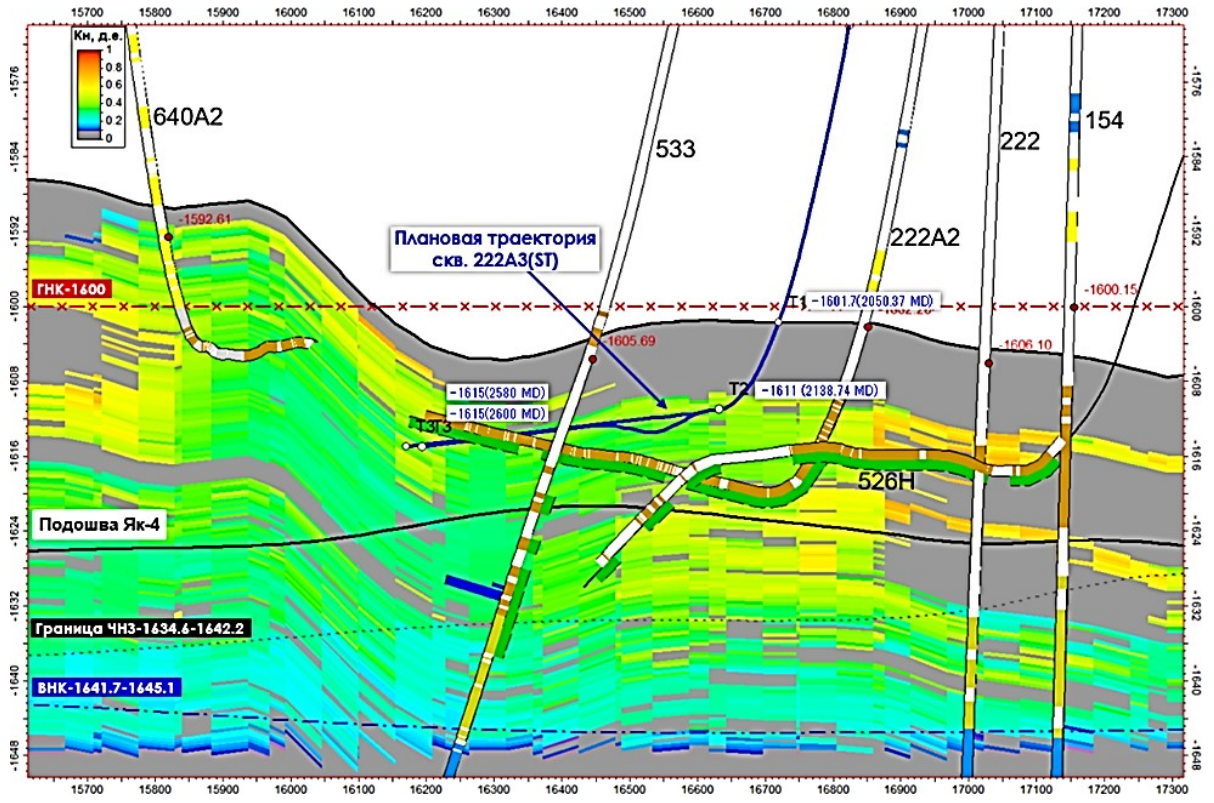

Рисунок 6 – Геологический разрез вдоль профиля проектного ствола с учётом нефтенасыщенности

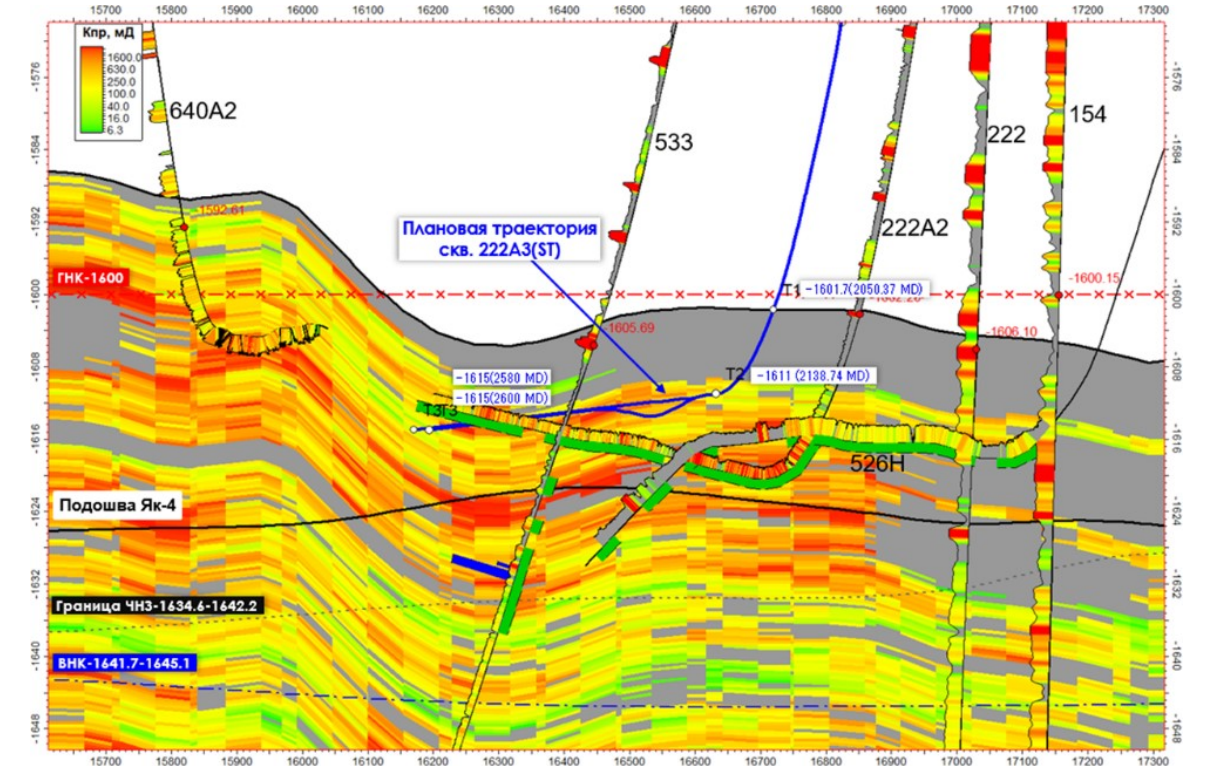

Рисунок 7 – Геологический разрез вдоль профиля проектного ствола с учётом проницаемости

Анализируя рисунки 6 и 7, можно сделать вывод о том, что выбранная проектная траектория горизонтального ствола скважины удовлетворяет граничным критериям применимости технологии зарезки бокового ствола, а петрофизические свойства продуктивной нефтенасыщенной зоны позволяют осуществить проходку ствола по указанной траектории без возможных осложнений. Учитывая эффективную нефтенасыщенную толщину и проницаемость выбранной зоны, осуществление данного геолого-технического мероприятия позволит вовлечь в разработку невыработанные остаточные запасы, что благоприятно повлияет на её эффективность.

С учётом всего вышесказанного предлагаются следующие конструктивные и технологические характеристики зарезаемого горизонтального ствола [15–17].

Планируемые работы по проекту:

- опрессовка противовыбросового оборудования совместно с эксплуатационной колонной ∅178 мм на давление 150 атм.;
- сборка бурильного инструмента с мостков;
- спуск, ориентирование и посадка клина-отклонителя с применением телеметрии;
- вырезка технологического «окна» в эксплуатационной и технологической колонне ∅177,8–244,5 мм в интервале 1269–1272 м;
- бурение в интервале 1272–2138 м (866 м) компоновкой: БИТ 155,6 мм + РУС + MWD + LWD в т.ч. с использованием гидравлического расширителя Rhino XS5625 Smith с расширением диаметра скважины до 165,1 мм;
- бурение основного и бокового ствола (FB) в интервале 2138-2600 м компоновкой: БИТ 155,6 мм + РУС + MWD + LWD;
- шаблонировка ствола скважины и обсаживание бокового ствола (FB) спуском хвостовика 114,3 мм выполняются по отдельным планам работ;
- срезка и бурение основного ствола в интервале 2170–2580 м компоновкой: БИТ 155,6 мм + РУС + MWD + LWD;
- шаблонировка ствола скважины перед спуском 127/114,3 мм хвостовика;
- спуск и крепление 114,3 мм хвостовика.

В таблице 2 приведены данные по проектному стволу скважины.

Таблица 2 – Информация по проектному стволу скважины

Тип ствола	боковой с горизонтальным окончанием
1	2
Назначение скважины	добывающая
Проектный горизонт	яковлевский пласт Як-III-VII
Интервал технологического «окна», м	126–1272
Плановая установка ориентирования клина-отклонителя, град	– 60° (влево)
Картографический азимут в точке вырезки окна, град	185°
Зенитный угол в интервале клина-отклонителя, град	33,9
Проектная глубина основного ствола, м	2580
Проектная глубина бокового ствола (FB), м	2600
Проектная длина основного ствола от «окна», м	1308
Глубина кровли пласта Як-III-VII по стволу, м	2000
Глубина кровли пласта Як-III-VII по вертикали, м	1645
А.о. кровли проектного пласта Як-III-VII, м	1588
Глубина точки Т2 по стволу, м	2138
Зенитный угол входа в точку Т2, град.	89°
Проходка по пласту Як-III-VII, м	580
Пластовое давление, атм.	140
Давление ГРП, атм.	230
Ожидаемый газовый фактор, $м^3/т$	150
Отход от вертикали: от устья до точки входа в Т2, м от устья до точки окончательного забоя Т3, м	 985 1436

Окончание таблицы 2

1	2
Картографический азимут в точке Т2, град. в точке Т3, град.	 158° 149°
Магнитное склонение, град.	19,182°
Радиус круга допуска, м	25
Интервал спуска 127/114,3 мм хвостовика, м	1194–2580

В таблице 3 приведены данные по выбранной скважине.

Таблица 3 – Данные скважины № 222

№ скважины	222
№ куста	20
Месторождение	нефтегазоконденсатное
Назначение скважины	добывающая
Диаметр / толщина стенки предыдущей колонны, мм	177,8 / 9,19
Глубина башмака предыдущей колонны, м	3825
Глубина основного ствола по стволу/ по вертикали, м	2600/1667
Интервал технологического окна, м	1269–1272
Максимальный зенитный угол на глубине, град/м	91,54° 2546/1667
Диаметр открытого ствола, мм	155,6
Кровля пласта Як-III-VII по стволу / по вертикали	2041 / 1656
Пластовое давление, атм.	140
Гидростатическое давление, атм.	175

Технологический расчёт зарезки бокового ствола

В практике эксплуатации горизонтальных скважин могут быть использованы различные методики для расчёта продуктивности. Существуют различные математические модели для расчёта притока флюида к скважине, учитывающие форму площади дренирования скважины.

Расчёт дебита горизонтальной скважины, полученной в результате зарезки бокового ствола на выбранной вертикальной скважине, выполним по методикам Ю.П. Борисова [18, 19], F.M. Giger [20] и S.D. Joshi [21]. Также необходимо отметить, что расчёт будет производиться в зависимости от длины горизонтального участка ствола.

В таблице 4 приведены данные, необходимые для расчёта.

Таблица 4 – Исходные данные для расчёта

Длина горизонтального ствола L, м	(50÷500), l = 50
Радиус контура питания $R_к$, м	500
Радиус скважины $r_{скв}$, м	0,0786
Эффективная толщина h, м	19,1
Проницаемость k, мкм^2	0,48
Пластовое давление $P_{пл}$, МПа	16,01
Забойное давление $P_{заб}$, МПа	13,9
Вязкость μ, мПа · с	24,4
Коэффициент анизотропии β, доли ед.	0,5
Обводнённость B, %	74
Плотность ρ, кг/м^3	850
Глубина скважины по вертикали $L_в$, м	1667

1. Дебит вертикальной скважины по формуле Дюпюи [22]:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu} \cdot \frac{\left(P_{пл} - P_{заб}\right)}{\ln\left(\frac{R_к}{r_{скв}}\right)}, \quad (1)$$

где k – проницаемость, мкм^2; $P_{пл}$ – пластовое давление, МПа; $P_{заб}$ – забойное давление, МПа; μ – вязкость пластового флюида, мПа · с; $R_к$ – радиус кругового контура питания, м; h – эффективная толщина пласта, м; $r_{скв}$ – радиус скважины, м.

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-13} \cdot 19{,}1}{24{,}4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\left(16{,}1 - 13{,}90\right) \cdot 10^6}{\ln\left(\frac{400}{0{,}0786}\right)} = 5{,}83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пересчёт полученного значения из м^3/с в м^3/сут. и в тонн/сут.:

$$Q = 5{,}83 \cdot 10^{-4} \cdot 86400 = 50{,}38 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

$$Q = \frac{5{,}83 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{пов}}{1000} = \frac{5{,}83 \cdot 10^{-4} \cdot 902}{1000} = 45{,}44 \text{ тонн/сут.},$$

где $\rho_{пов}$ – плотность нефти в поверхностных условиях ($\rho_{пов}$ = 902 кг/м^3).

С учётом обводнённости дебит вертикальной скважины по нефти составит Q = 9,09 тонн/сут.

2. Дебит горизонтальной скважины по формуле Ю.П. Борисова:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu} \cdot \frac{\left(P_{пл} - P_{заб}\right)}{\ln\left(\frac{4 \cdot R_к}{L}\right) + \frac{h}{L} \cdot \ln\left(\frac{h}{2 \cdot \pi \cdot r_{скв}}\right)}, \quad (2)$$

где L – длина горизонтального участка ствола скважины, м.

Расчёт дебита будет производиться при значении длины горизонтального участка скважины L = 300 м (в том числе для методов Joshi и Giger). Значения дебитов при других значениях L будут произведены с помощью средств табличного калькулятора MS Excel [23]:

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-13} \cdot 19{,}1}{24{,}4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\left(16{,}01 - 13{,}90\right) \cdot 10^6}{\ln\left(\frac{4 \cdot 400}{300}\right) + \frac{19{,}1}{300} \cdot \ln\left(\frac{19{,}1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0786}\right)} = 0{,}001713 \text{ м}^3/\text{с} =$$

$$= 147{,}98 \text{ м}^3/\text{сут.} = 133{,}47 \text{ тонн/сут.}$$

3. Дебит горизонтальной скважины по формуле Joshi для неоднородного пласта, учитывающей коэффициент анизотропии проницаемости:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu} \cdot \frac{\left(P_{пл} - P_{заб}\right)}{\ln\left[\frac{a + \sqrt{a^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}}{\frac{L}{2}}\right] + \frac{h \cdot \beta}{L} \cdot \ln\left(\frac{h \cdot \beta}{r_{скв} \cdot (\beta + 1)}\right)}, \quad (3)$$

где β – коэффициент анизотропии; a – главная полуось эллипса дренирования в горизонтальной плоскости (рис. 8):

$$a = \frac{L}{2} \cdot \sqrt{0{,}5 + \left[0{,}25 + \left(\frac{2 \cdot R_к}{\frac{L}{2}} \right)^4 \right]^{0{,}5}} \cdot \qquad (4)$$

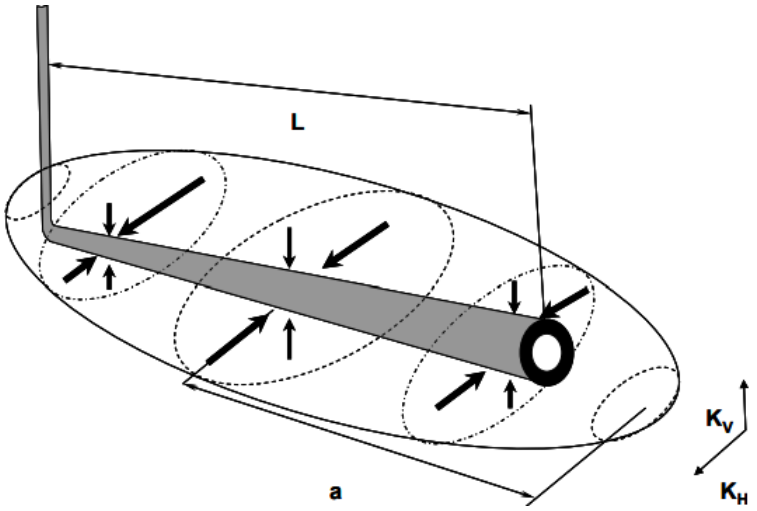

Рисунок 8 – Приток флюида к горизонтальному стволу скважины и зона её дренирования

$$a = \frac{300}{2} \cdot \sqrt{0{,}5 + \left[0{,}25 + \left(\frac{2 \cdot 400}{\frac{300}{2}} \right)^4 \right]^{0{,}5}} = 414{,}30 \quad \text{м;}$$

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-13} \cdot 19{,}1}{24{,}4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{(16{,}01 - 13{,}90) \cdot 10^6}{\ln \left[\frac{414{,}30 + \sqrt{414{,}30^2 - \left(\frac{300}{2} \right)^2}}{\frac{300}{2}} \right] + \frac{19{,}1 \cdot 0{,}5}{300} \cdot \ln \left(\frac{19{,}1 \cdot 0{,}5}{0{,}0786 \cdot (0{,}5 + 1)} \right)} =$$

$= 6{,}72 \cdot 10^{-4}$ м^3/с = 58,03 м^3/сут. = 52,34 тонн/сут.

4. Дебит горизонтальной скважины по формуле Giger:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot h}{\mu} \cdot \frac{(P_{пл} - P_{заб})}{\ln \left[\frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{L}{2 \cdot R_к} \right)^2}}{\frac{L}{2 \cdot R_к}} \right] + \frac{h}{L} \cdot \ln \left(\frac{h}{2 \cdot \pi \cdot r_{скв}} \right)}; \qquad (5)$$

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-13} \cdot 19{,}1}{24{,}4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{(16{,}01 - 13{,}90) \cdot 10^{6}}{\ln\left[\frac{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{300}{2 \cdot 400}\right)^2}}{\frac{300}{2 \cdot 400}}\right] + \frac{19{,}1}{300} \cdot \ln\left(\frac{19{,}1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0786}\right)} =$$

$$= 28{,}45 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 245{,}81 \text{ м}^3/\text{сут.} = 221{,}72 \text{ тонн/сут.}$$

В таблице 5 приведены значения дебитов горизонтальных скважин для каждого из методов в зависимости от длины горизонтального участка ствола скважины.

Таблица 5 – Значения дебитов горизонтального участка ствола скважины в зависимости от его длины

Длина горизонтального участка ствола скважины, м	Дебит горизонтального участка ствола скважины, тонн/сут.		
	по методу Ю.П. Борисова	по методу S.D. Joshi	по методу F.M. Giger
50	35,725	41,965	35,021
100	59,964	46,009	70,341
150	80,287	48,369	106,279
200	98,761	50,032	143,191
250	116,314	51,313	181,496
300	133,474	52,343	221,717
350	150,581	53,198	264,531
400	167,887	53,924	310,866
450	185,598	54,552	362,055

На рисунке 9 приведён график зависимости дебита горизонтального участка ствола скважины от его длины.

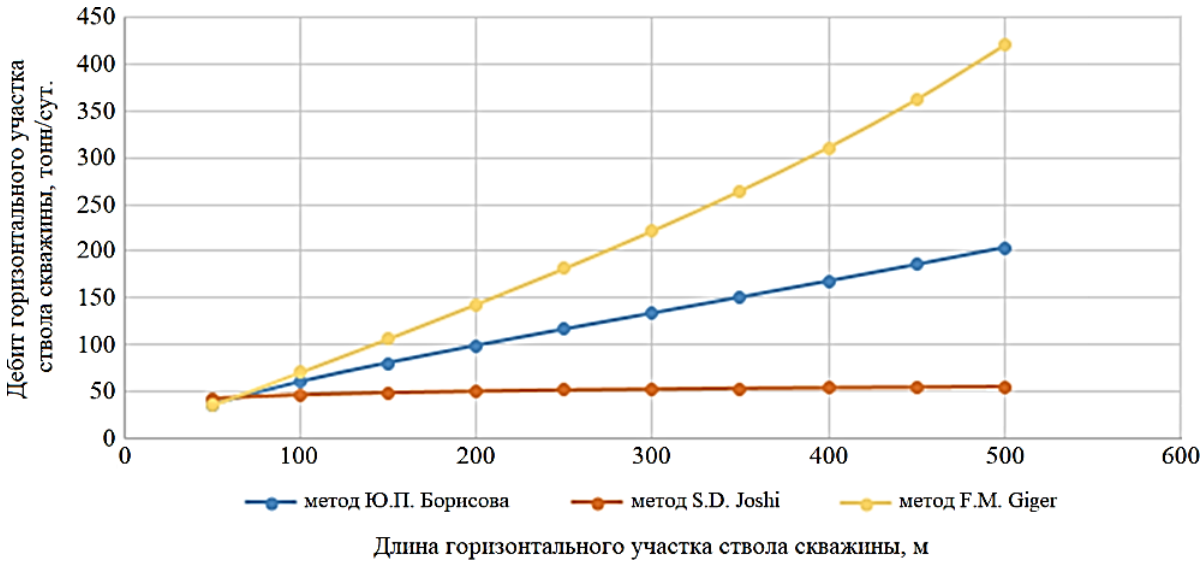

Рисунок 9 – Зависимость дебита горизонтального участка ствола скважины от его длины

Поскольку средний фактический дебит одной горизонтальной скважины объекта Як-III-VII равен 50 тонн/сут., а рассчитанные значения по методу Joshi наиболее приближены к фактическому показателю, то из этого следует вывод, что метод расчёта дебита горизонтальной скважины по Joshi является наиболее точным и подходящим. Дальнейшие расчёты будут производиться по данным расчёта этого метода. На рисун-

ке 10 приведена зависимость дебита горизонтальной скважины, рассчитанного по методике Joshi, от длины горизонтального участка ствола скважины.

Поскольку радиус контура питания равен 500 м, наиболее подходящим значением длины ствола принимается значение $L_{гор}$ = 350 м.

Технологическая эффективность зарезки бокового ствола

1. Прирост дебита горизонтальной скважины по сравнению с вертикальной равен:

$$\Delta Q = Q_{350} - Q_{вс}, \quad (6)$$

где Q_{350} – дебит горизонтальной скважины при длине ствола; $Q_{вс}$ – дебит вертикальной скважины, равен 9,09 тонн/сут.

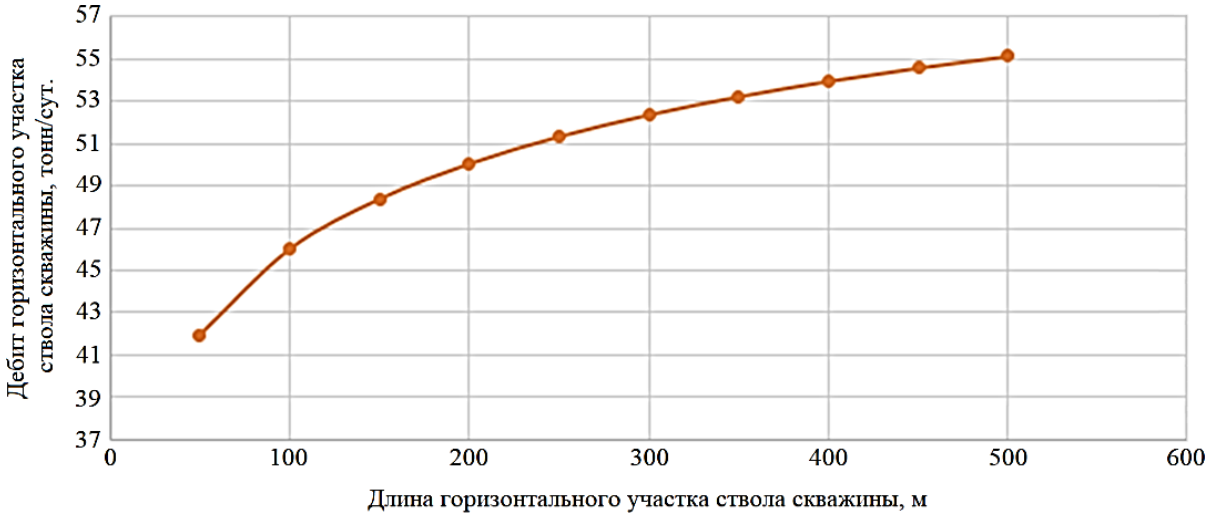

Рисунок 10 – Зависимость дебита горизонтального участка ствола скважины, рассчитанного по методике Joshi, от его длины

В таблице 6 приведены значения технологического эффекта от проведённого геолого-технического мероприятия [24, 25] в виде прироста дебита.

Таблица 6 – Зависимость прироста добычи ΔQ, тонн/сут. от длины горизонтального ствола

Lгор	2022	2023	2024	2025	2026
50	41,97	39,87	37,08	33,37	31,70
100	46,01	43,71	40,65	36,58	34,76
150	48,37	45,95	42,73	38,46	36,54
200	50,03	47,53	44,21	39,79	37,80
250	51,31	48,75	45,34	40,80	38,76
300	52,34	49,73	46,24	41,62	39,54
350	53,20	50,54	47,00	42,30	40,19
400	53,92	51,23	47,64	42,88	40,73

2. Определение дополнительной добычи от проведения зарезки бокового ствола:

$$\Delta Q_n = \Delta q_н \cdot K_{эксп} \cdot T, \quad (7)$$

где $\Delta q_н$ – прирост дебита вследствие применения мероприятия, равен разности между изменённым и первоначальным дебитами скважины, в данном случае, для каждого года будет рассчитываться среднегодовой дебит по скважине; $K_{эксп}$ – коэффициент эксплуатации скважины, принимается равным 0,98; T – период эксплуатации скважины, для каждого года равен 365 сут.; n – текущий год.

Моделирование технологии зарезки бокового ствола на цифровой фильтрационной модели

Для расчёта показателей разработки на модели нами проанализирована карта остаточных нефтенасыщенных толщин в предполагаемом месте бурения бокового ствола (рис. 11). Построение границ основывается на методе Вороного [26], в конечном счёте, модель представляет собой сектор единичной скважины, дренирующей запасы заданной области (рис. 12).

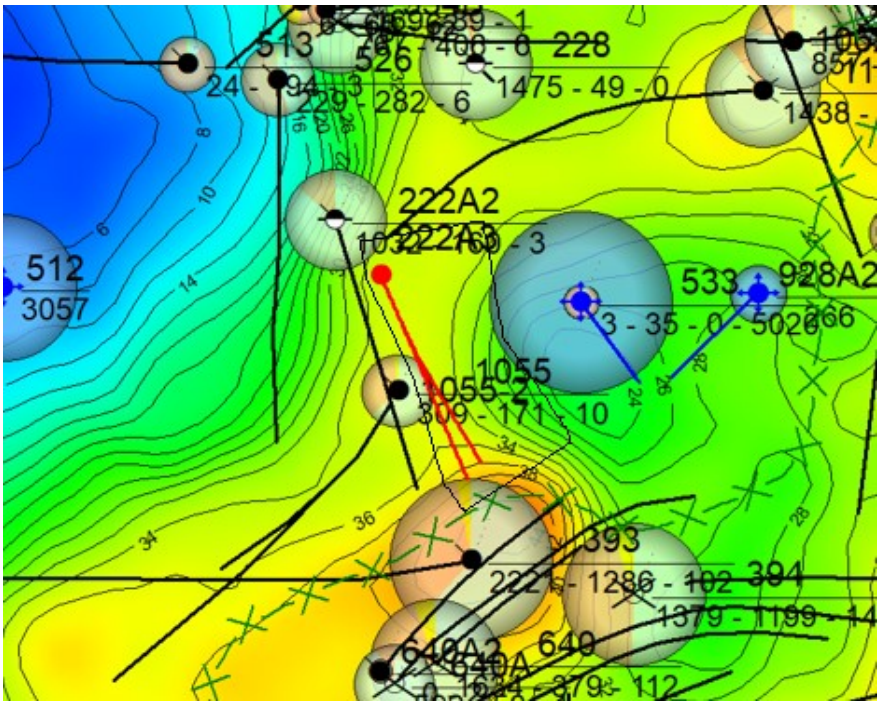

Рисунок 11 – Выделение границ моделирования ЗБГС

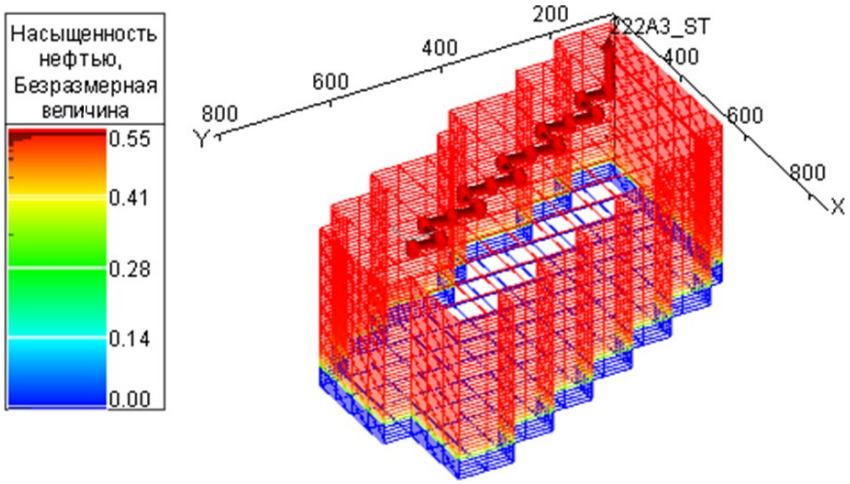

Рисунок 12 – Сектор единичной скважины ЗБГС

Затем произведён подробный анализ геолого-физических данных моделируемого пласта и рассмотрены физические свойства флюидов.

Необходимо отметить, что полученная фильтрационная модель выполнена с некоторыми допущениями относительно реально существующей постоянно действующей модели [27]. Ввиду отсутствия данных о законе распределения петрофизических свойств пласта в 3Д в секторной модели задавались средние параметры из геолого-физической характеристики, параметры сетки приведены в таблице 7. Подсчётные параметры и средние геолого-физические параметры указаны в таблицах 8 и 9.

Таблица 7 – Параметры сетки

Параметр	Гидродинамическая модель
Пласт	Як-III-VII
Размерность сетки	20 × 20 × 40
Общее количество ячеек	16000
в т.ч. активных	4160
Средняя толщина ячейки (Z), м	1

Таблица 8 – Подсчётные параметры в секторной модели

Подсчётные параметры	Фильтрационная модель
Пористость, доли ед.	0,27
Плотность нефти, кг/м3	902
Объёмный коэффициент нефти, доли ед.	1,15
Поровый объём, тыс. м3	7020
Нефтенасыщенность, доли ед.	0,55
Начальные геологические запасы нефти, тыс. тонн	2581,5

Таблица 9 – Сравнение параметров модели и результатов ГИС в районе скважины № 174

Параметры	Фильтрационная модель
Пластовое давление, МПа	16,0
Давление насыщения, МПа	15,8
Газосодержание, $м^3/м^3$	28
Коэффициент пористости, доли ед.	0,27
Нефтенасыщенность, доли ед.	0,55
Песчанистость, доли ед.	1
Эффективная толщина, м	35
Коэффициент проницаемости, 10^{-3} $мкм^2$	380
Коэффициент анизотропии проницаемости, доли ед.	0,14

Для корректной работы модели использована равновесная инициализация путём задания капиллярного давления на ВНК и зависимости капиллярного давления от водонасыщенности. Параметр водонасыщенности (SWATINIT) в гидродинамической модели задавался напрямую.

Для увеличения скорости гидродинамических расчётов водонасыщенная часть модели залежи отсечена по глубине ниже уровня ВНК на 6 м (а.о. минус 1650 м). Положение уровня ВНК для пласта Як-III-VII принято на а.о. минус 1644 м.

Для поддержания давления в залежи к подошвенной части подключён аналитический водоносный горизонт, заданный по модели Картера-Трэйси. Данная методика использовалась для моделирования темпа продвижения пластовой воды при значительном сокращении числа активных ячеек. Заданные при инициализации модели основные физико-химические свойства пластовых флюидов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Основные физико-химические свойства пластовых флюидов

Параметры	Модель
Плотность нефти в поверхностных условиях, $кг/м^3$	902
Плотность газа по воздуху в поверхностных условиях, доли ед.	0,72
Плотность воды в поверхностных условиях, $кг/м^3$	1000
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа	24
Вязкость газа в пластовых условиях, мПа · с	0,021
Вязкость воды в пластовых условиях, мПа · с	0,5

Заданные PVT свойства газа, включающие значения объёмного коэффициента и вязкость газа при различном давлении, приведены на рисунке 13.

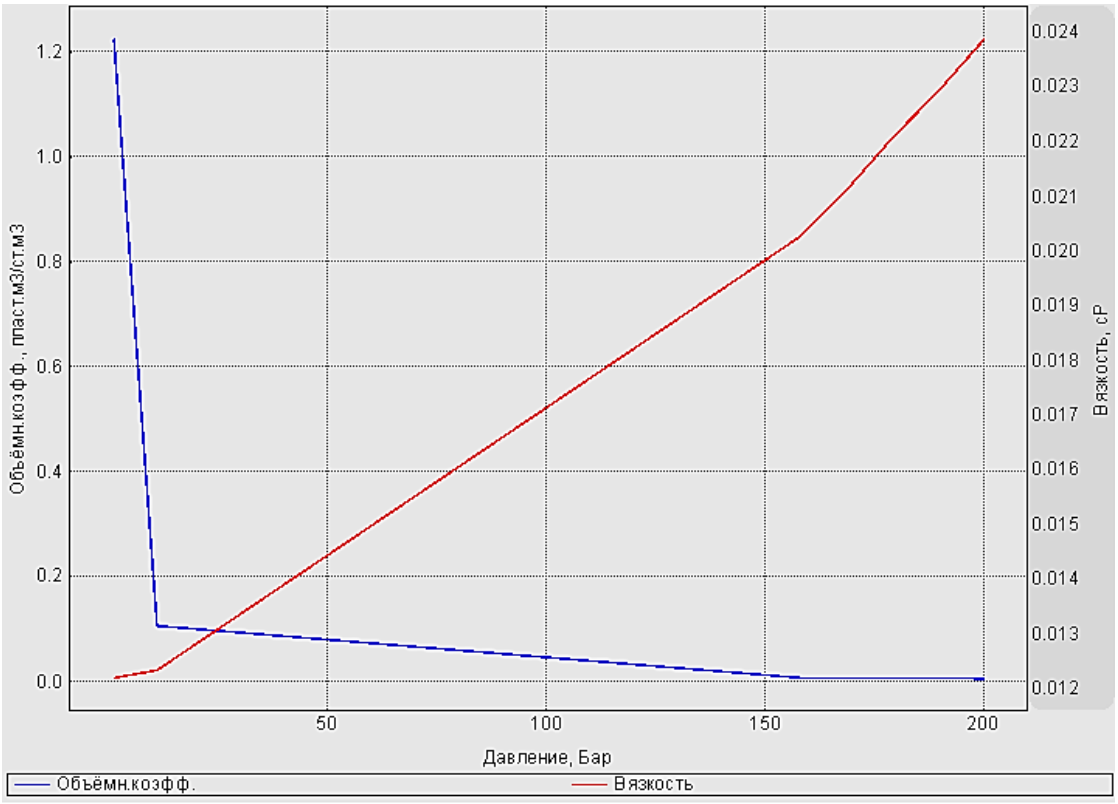

Рисунок 13 – PVT-свойства газа

Заданные PVT свойства нефти, включающие насыщенную и недонасыщенную ветви со значениями газосодержания, объёмного коэффициента и вязкости при различном давлении приведены на рисунке 14.

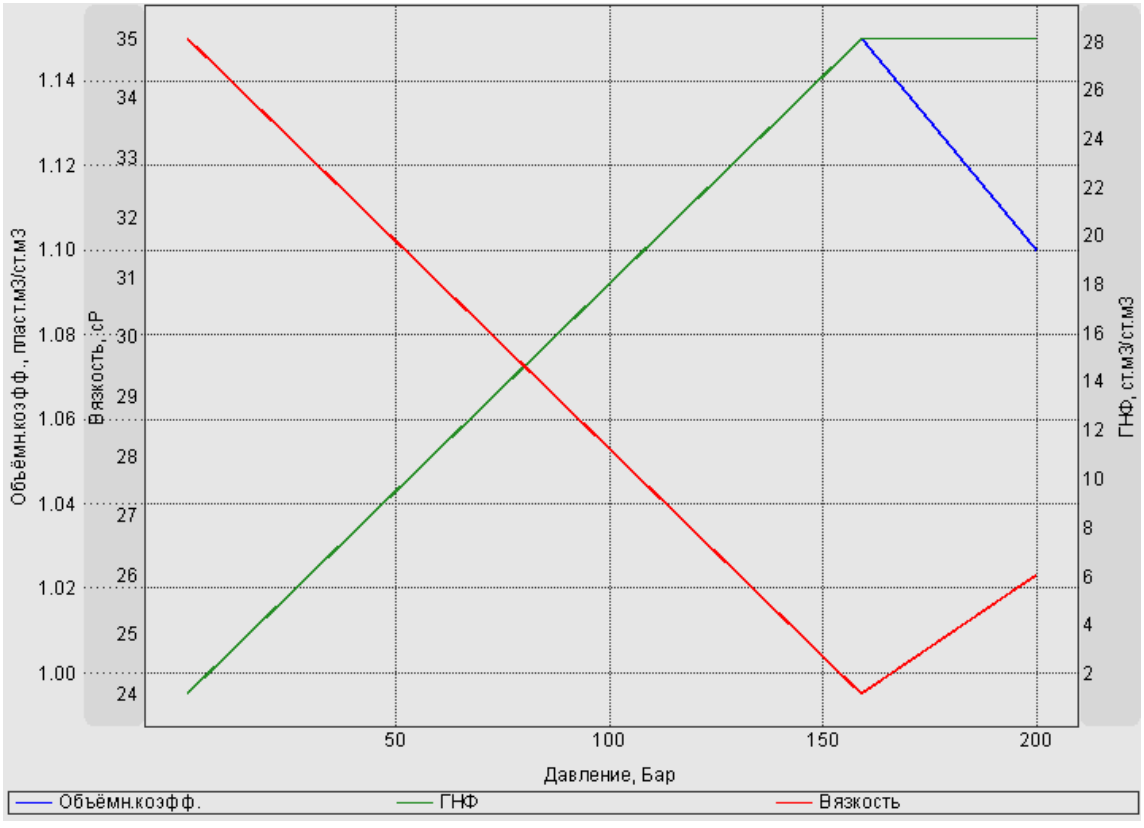

Рисунок 14 – PVT-свойства нефти

При этом объёмный коэффициент газа при начальных пластовых условиях (16,61 МПа) составляет 0,0066 доли ед., а вязкость при этом равна 0,02 мПа · с.

Таким образом, фильтрационная модель является адекватной фактическим данным и пригодной для расчёта показателей разработки бокового ствола.

Для выбора оптимальной длины бокового ствола проводилась серия расчётов с различными длинами ЗБГС. Результаты расчётов приведены в таблице 11, расчёты проводились на 25 лет с момента запуска бокового ствола в работу.

Таблица 11 – Результат построения гидродинамической модели

Длина ЗБГС, м	Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	Накопленная добыча жидкости, тыс. м^3	Стартовый дебит по нефти, тонн/сут.
300	409,9	3954	120,2
400	466,1	4316	160,2
500	558,7	6472	235,6

Накопленные показатели добычи нефти и жидкости приведены на рисунке 15.

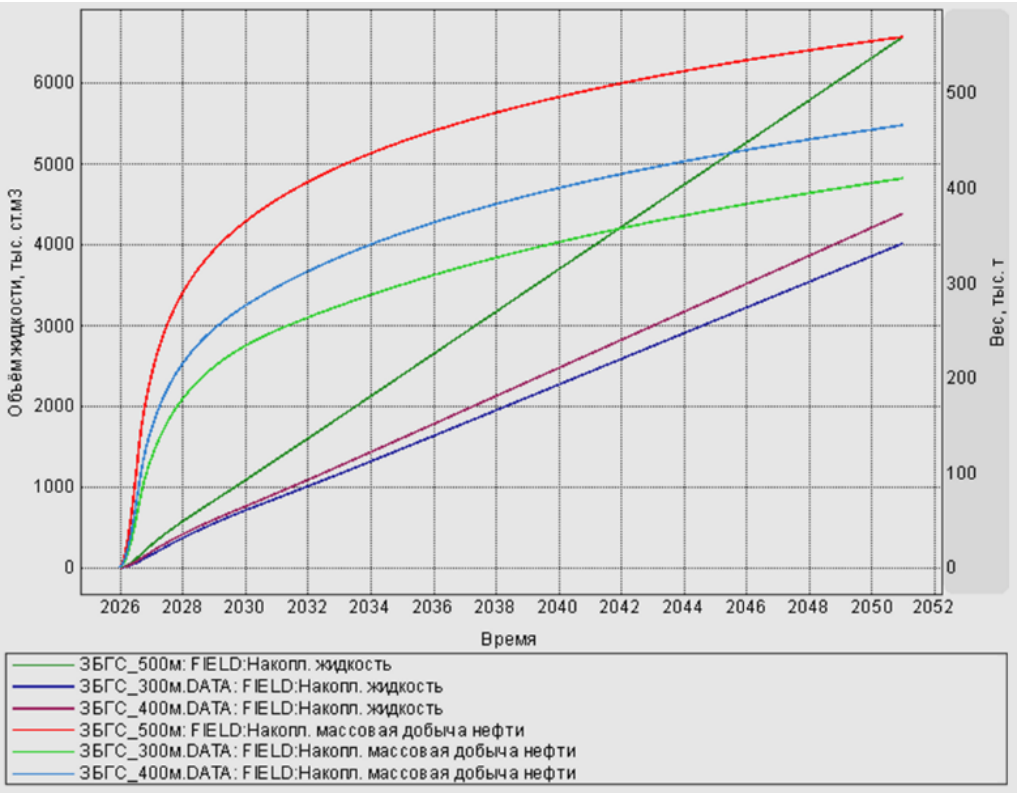

Рисунок 15 – Накопленные показатели добычи нефти и жидкости

Заключение

В результате сравнения граничных критериев применимости с параметрами пласта и скважины выбрана наиболее эффективная и рентабельная технология зарезки бокового ствола, рекомендуемая к проведению на объекте Як-III-VII.

На основе анализа карты нефтенасыщенных толщин выбрана наиболее подходящая для зарезки бокового ствола вертикальная добывающая скважина № 222, находящаяся в бездействующем фонде по причине высокой обводнённости. Также приведены характеристики проектного ствола, его геометрические параметры, показана предполагаемая траектория.

Опираясь на расчёты, можно сделать вывод о том, что наиболее рентабельным вариантом может являться технология зарезки бокового ствола с длиной горизонтального участка 350 м.

Данная технология может показать хорошую эффективность при условии соблюдения правил проведения операции и требований к осуществляемому процессу зарезки. Вовлечение перспективной нефтенасыщенной зоны свидетельствует о повышении эффективности разработки объекта Як III-VII.

Литература

1. Ванкорское газонефтяное месторождение – базовый объект для развития нефтедобычи на севере красноярского края / В.Д. Накоряков [и др.] // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2003. – № 3. – С. 61–66.
2. Квачко С.К. Литолого-фациальный анализ нижнемеловых отложений Ванкорского газонефтяного месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 338. – С. 223–226.
3. Татаринова Е.Э. Геологическое строение и особенности разработки газонефтяной залежи объекта Як-III-VII / Е.Э. Татаринова, Т.И. Кузнецова // Ашировские чтения. – 2018. – Т. 1. – № 1(10). – С. 186–189.
4. Степанов Р.И. Применение метода обработки призабойной зоны как способа повышения работы добывающего фонда скважин терригенных коллекторов на примере пласта Нх-I Ванкорского месторождения // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17. – № 1.
5. Петрушин Е.О. Осложнённые условия эксплуатации скважин Ванкорского нефтегазового месторождения / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 214–232.
6. Ладенко А.А. Обоснование системы разработки нефтегазового месторождения с применением технологии забуривания боковых стволов как решение проблемы выработки остаточных запасов нефти и восстановления малодебитных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 11(383). – С. 34–43.
7. Ладенко А.А. Обоснование применения технологии зарезки боковых горизонтальных стволов на нефтегазовом месторождении Ванкорского кластера / А.А. Ладенко, И.О. Мухамедчев, А.С. Козынченко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2026. – № 1(397). – С. 5–15.
8. Ладенко А.А. Обоснование эффективности применения технологии зарезки боковых стволов для повышения эффективности разработки нефтегазоконденсатного месторождения / А.А. Ладенко, Е.С. Гейценредер // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2026. – № 7(403). – С. 60–70.
9. Петрушин Е.О. Обоснование эффективности применения технологии зарезки горизонтальных боковых стволов в продуктивном пласте БС4-5 нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2026. – № 2. – С. 214–238.
10. 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.
11. Мавлютов Д.Д. Определение критериев подбора объектов для зарезки боковых горизонтальных стволов на действующих нефтяных скважинах / Д.Д. Мавлютов, Р.Е. Ирмашев // Форум молодых учёных. – 2018. – № 11-2(27). – С. 3–7.
12. Определение критериев выбора скважин-кандидатов для зарезки в них боковых стволов / Е.Н. Устькачкинцев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 78–81.
13. Доброчасов А.И. Технико-технологические решения по повышению эффективности бурения боковых горизонтальных стволов на месторождениях Западной Сибири / А.И. Доброчасов, Ж.С. Попова, В.А. Саломатов // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 3. – С. 76–82.
14. Шиян С.И. Технико-экономическое обоснование применения технологии зарезки и бурения бокового ствола из бездействующей скважины / С.И. Шиян, Н.Э. Чуприна // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – С. 291–301.
15. Демин С.В. Основные аспекты зарезки боковых стволов скважин на нефтегазовом месторождении / С.В. Демин, С.А. Булгаков, М.А. Шейкина // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 12(648). – С. 23–27. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-12(648)-23-27
16. Кусов Г.В. Перспективы разработки Самбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Особенности зарезки боковых стволов / Г.В. Кусов, Д.А. Березовский, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 3. – С. 73–99.
17. Яхудина Н.Х. Совершенствование техники и технологии зарезки дополнительных боковых стволов из эксплуатационной колонны добывающей скважины // Нефть и газ – 97: тезисы

докладов 51-ой межвузовской студенческой научной конференции (22-24 апреля 1997 года, г. Москва). – М. : Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 1997. – 5 с.
18. Борисов Ю.П. О притоке нефти к горизонтальным и наклонным скважинам в изотропном пласте конечной мощности / Ю.П. Борисов, В.П. Табаков // НТС ВНИИ. – М. : Гостоптехиздат, 1962. – Вып. 16.
19. Борисов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами / Ю.П. Борисов, В.П. Пилатовский, В.П. Табаков. – М. : Недра. – 1964. – 154 с.
20. Giger F.M. Horizontal wells production techniques in heterogeneous reservoirs // SPE Middle East Oil Technical Conference and Exhibition (Bahrain, March 11–14, 1985). DOI: 10.2118/13710-MS
21. Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells // Journal of Petroleum Technology. 1988. – Vol. 40. – № 6. – P. 729–739. DOI: 10.2118/15375-PA
22. Renard G. Formation damage effects on horizontal well flow efficiency / G. Renard, J.M. Dupuy // Journal of Petroleum Technology. – 1991. – Vol. 43. – № 7. – P. 786–869. DOI: 10.2118/19414-PA
23. Капитонов В.А. Сбор данных из файлов Excel и Word // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 3. – С. 124–134.
24. Даценко Е.Н. Оценка технологической и экономической эффективности разработки газонефтяного месторождения с применением горизонтальных скважин / Е.Н. Даценко, И.О. Орлова, Н.Н. Авакимян // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 59–87.
25. Туматов Р.Р. Оценка эффективности применения методов зарезки боковых стволов для увеличения коэффициента нефтеизвлечения / Р.Р. Туматов, И.Г. Фаттахов, Р.А. Кашапов // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2025: Сборник трудов Международной научно-технической конференции (21–22 марта 2025 года, г. Октябрьский). – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2025. – С. 319–323.
26. Voronoi G.F. Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie de formes quadratiques (фр.) // Journal für die reine und angewandte Mathematik. – 1908. – Vol. 134. – P. 198–287.
27. 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.

References

1. The Vankor oil and gas field: a foundational asset for the development of oil production in the north of the Krasnoyarsk Territory / V.D. Nakoryakov [et al.] // Mineral Resources of Russia: Economics and Management. – 2003. – № 3. – P. 61–66.
2. Kvachko S.K. Lithofacies analysis of Lower Cretaceous deposits in the Vankor oil and gas field (Western Siberia) // Bulletin of Tomsk State University. – 2010. – № 338. – P. 223–226.
3. Tatarinova E.E. Geological structure and development characteristics of the Yak-III-VII oil and gas reservoir / E.E. Tatarinova, T.I. Kuznetsova // Ashirov Readings. – 2018. – Vol. 1. – № 1(10). – P. 186–189.
4. Stepanov R.I. Application of a near-wellbore zone treatment method to enhance the performance of production wells in terrigenous reservoirs: A case study of the Nh-I formation at the Vankorskoye field // Bulletin of Eurasian Science. – 2025. – Vol. 17. – № 1.
5. Petrushin E.O. Challenging operating conditions for wells at the Vankorskoye oil and gas field / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 214–232.
6. Ladenko A.A. Substantiation of an oil and gas field development system using sidetracking technology as a solution for recovering residual oil reserves and restoring low-productivity wells // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2024. – № 11(383). – P. 34–43.
7. Ladenko A.A. Substantiation of the use of lateral horizontal sidetracking technology at an oil and gas field in the Vankor cluster / A.A. Ladenko, I.O. Mukhamedchev, A.S. Kozynchenko // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2026. – № 1(397). – P. 5–15.
8. Ladenko A.A. Justification for the effectiveness of using sidetracking technology to enhance the development of an oil, gas, and condensate field / A.A. Ladenko, E.S. Geitsenreder // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2026. – № 7(403). – P. 60–70.
9. Petrushin E.O. Justification for the effectiveness of using horizontal sidetracking technology in the BS4-5 productive formation of an oil field // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 2. – P. 214–238.

10. Petrushin E.O. Field studies of inflow into horizontal wells and methods for enhancing oil and gas production / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan, L.G. Kusova // SEVERGEOEKOTEKH – 2021: Proceedings of the XXII International Youth Scientific Conference (March 17–19, 2021, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2021. – P. 476–480.
11. Mavlyutov D.D. Determining criteria for selecting targets for sidetracking horizontal wellbores in existing oil wells / D.D. Mavlyutov, R.E. Irmashev // Forum of Young Scientists. – 2018. – № 11-2 (27). – P. 3–7.
12. Defining Criteria for Selecting Candidate Wells for Sidetracking / E.N. Ustkachkintsev [et al.] // Neftyanoe Khozyaystvo (Oil Industry). – 2013. – № 2. – P. 78–81.
13. Dobrochasov A.I. Technical and Technological Solutions for Improving the Efficiency of Drilling Horizontal Sidetracks in Western Siberian Oil Fields / A.I. Dobrochasov, Zh.S. Popova, V.A. Salomatov // Bulatov Readings. – 2017. – Vol. 3. – P. 76–82.
14. Shiyan S.I. Technical and Economic Justification for the Application of Sidetracking and Drilling Technology in Inactive Wells / S.I. Shiyan, N.E. Chuprina // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 1. – P. 291–301.
15. Demin S.V. Key aspects of sidetracking in oil and gas fields / S.V. Demin, S.A. Bulgakov, M.A. Sheikina // Oilfield Engineering. – 2022. – № 12(648). – P. 23–27. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-12(648)-23-27
16. Kusov G.V. Prospects for the development of the Samburgskoye oil, gas, and condensate field. Specifics of sidetracking / G.V. Kusov, D.A. Berezovsky, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2017. – № 3. – P. 73–99.
17. Yakhudina N.Kh. Improving the equipment and technology for drilling additional sidetracks from the production casing of an oil/gas well // Oil and Gas – 97: Abstracts of the 51st Interuniversity Student Scientific Conference (April 22–24, 1997, Moscow). – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 1997. – 5 p.
18. Borisov Yu.P. On Oil Inflow to Horizontal and Inclined Wells in an Isotropic Formation of Finite Thickness / Yu.P. Borisov, V.P. Tabakov // NTS VNII. – M. : Gostoptekhizdat, 1962. – Iss. 16.
19. Borisov Yu.P. Development of Oil Fields Using Horizontal and Multilateral Wells / Yu.P. Borisov, V.P. Pilatovsky, V.P. Tabakov. – M. : Nedra, 1964. – 154 p.
20. Giger F.M. Horizontal wells production techniques in heterogeneous reservoirs // SPE Middle East Oil Technical Conference and Exhibition (Bahrain, March 11–14, 1985). DOI: 10.2118/13710-MS
21. Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells // Journal of Petroleum Technology. 1988. – Vol. 40. – № 6. – P. 729–739. DOI: 10.2118/15375-PA
22. Renard G. Formation damage effects on horizontal well flow efficiency / G. Renard, J.M. Dupuy // Journal of Petroleum Technology. – 1991. – Vol. 43. – № 7. – P. 786–869. DOI: 10.2118/19414-PA
23. Kapitonov V.A. Data Collection from Excel and Word Files // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 3. – P. 124–134.
24. Datsenko E.N. Evaluation of the Technological and Economic Efficiency of Developing a Gas-Oil Field Using Horizontal Wells / E.N. Datsenko, I.O. Orlova, N.N. Avakimyan // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 4. – P. 59–87.
25. Tumatov R.R. Evaluating the Effectiveness of Sidetracking Methods for Increasing the Oil Recovery Factor / R.R. Tumatov, I.G. Fattakhov, R.A. Kashapov // Modern Technologies in the Oil and Gas Industry – 2025: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (March 21–22, 2025, Oktyabrsky). – Ufa : Ufa State Petroleum Technological University, 2025. – P. 319–323.
26. Voronoi G.F. Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie de formes quadratiques (фр.) // Journal für die reine und angewandte Mathematik. – 1908. – Vol. 134. – P. 198–287.
27. Development of a comprehensive geological and technical model to enhance the efficiency of exploiting the third production unit of an oil, gas, and condensate field / N.Kh. Zharikova [et al.] // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 274–299.

УДК 622.276

ПРОГНОЗ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕФТИ

♦♦♦♦♦

PERMEABILITY COEFFICIENT PREDICTION BASED ON HYDRODYNAMIC STUDIES OF THE USINSKOYE VISCOUS OIL FIELD

Степанов Руслан Илдарович
аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений института нефти и газа, Сибирский федеральный университет
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Аннотация. Одним из наиболее важных свойств продуктивного резервуара является проницаемость. Именно от ее величины и особенностей поведения, зависят в целом коллекторские свойства продуктивного пласта и параметры добычи скважин. Для получения более точных величин данного параметра применяются геологические и промыслово-геофизические исследования, для его прогнозирования в условиях естественного залегания продуктивного пласта. Таковым методом являются гидродинамические исследования скважин, которые позволяют оценить параметры. В представленной работе дан прогноз коэффициента проницаемости по данным гидродинамических исследований на примере Усинского месторождения.

Ключевые слова: гидродинамические исследования скважин, проницаемость, высоковязкая нефть, карбонатный коллектор.

Stepanov Ruslan Ildarovich
Postgraduate Student of the Department of Oil and Gas Field Development and Operation, Oil and Gas Institute, Siberian Federal University
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Annotation. Permeability is one of the most important properties of a productive reservoir. Its value and behavior determine the overall reservoir properties of the productive formation and well production parameters. To obtain more accurate values for this parameter, geological and production geophysical studies are used to predict it under natural reservoir conditions. Well hydrodynamic studies, which allow for estimating these parameters, are one such method. This paper presents a permeability prediction based on well testing data using the Usinskoye field as an example.

Keywords: well testing, permeability, high-viscosity oil, carbonate reservoir.

Все чаще при разработке месторождений специалисты нефтяники сталкиваются с месторождениями, которые приурочены к вязким нефтям и трудноизвлекаемым запасам [1]. Одним из основных свойств является проницаемость. Для достоверности определения основного свойства продуктивного резервуара в естественном залегании продуктивного пласта, требуется применение современных методов гидродинамических исследований скважин. Он характеризует параметр суммарной площади сечения поровых каналов, по которым идет процесс фильтрации флюидов в том числе в порах трещинах и кавернах резервуара на единичной площади фильтрации. Для проведения исследований используются методы, основанные на установившийся и неустановившийся фильтрации флюидов [2–3]. В качестве объекта рассматривается Усинское месторождение. Шлиф по карбонатному коллектору показан на рисунке 1.

Так для прогноза коэффициента проницаемости использовалось следующее выражение:

$$К_{пр} = \frac{Q * \mu * L}{\Delta P * S}, (1)$$

где $К_{пр}$ – коэффициент проницаемости Мд, ΔР – депрессия на пласт МПа, μ – вязкость флюида МПа * с, L – длина пористой среды.

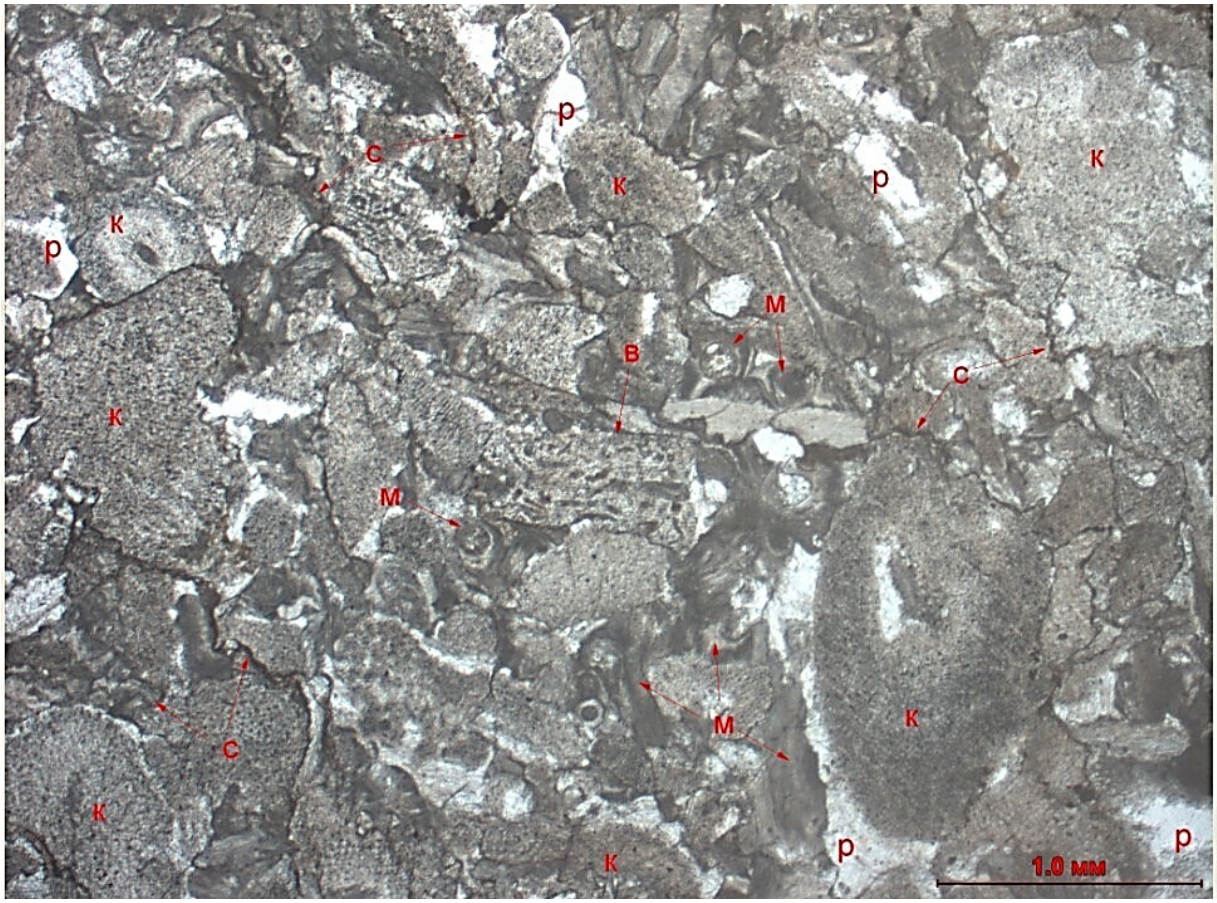

Рисунок 1 – Шлиф известняка Усинского месторождения пермо-карбоновая залежь

Данные интерпретации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные интерпретации данных гидродинамических исследований Усинского месторождения для прогноза коэффициента проницаемости

Скв	Коэффициент проницаемости, мкм^2	Дебит, м^3/сут	Депрессия на пласт, МПа	Скин-фактор
PL-567	$1{,}7 \times 10^{-3}$	50	9,6	0,2
PL-346	$1{,}9 \times 10^{-3}$	55,2	8,4	0,3
PL-979	$1{,}95 \times 10^{-3}$	67	9,3	0,1
PL-341	$2{,}01 \times 10^{-3}$	23,5	9,5	0,14
PL-346	$1{,}8 \times 10^{-3}$	31,3	10,1	0,15
PL-111	$1{,}85 \times 10^{-3}$	36	9,2	0,26

Заключение

Таким образом, интерпретация материалов по методике кривой восстановления давления позволяет определять величину коэффициента проницаемости в условиях естественного залегания продуктивного пласта, что позволяет оценивать коллекторские свойства продуктивного пласта по материалам исследований скважин.

Литература

1. Повышение эффективности разработки пермокарбоновой залежи сверхвязкой нефти Усинского месторождения Республики Коми // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 6. – С. 36–42.
2. Тараскин Е.Н. Реализация адаптивного геологического моделирования для сопровождения разработки пермо-карбоновой залежи Усинского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 10. – С. 36–41.

3. Тиаб Дж. Доналдсон Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Тиаб Дж. Доналдсон. Ч. Эрл. – М. : ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. – 868 с.

References

1. Improving the Efficiency of Permian-Carboniferous Extra-Viscous Oil Reservoir Development at the Usinskoye Field in the Komi Republic // Geology, Geophysics, and Development of Oil and Gas Fields. – 2019. – № 6. – P. 36–42.
2. Taraskin E.N. Implementation of Adaptive Geological Modeling to Support the Development of the Permian-Carboniferous Reservoir at the Usinskoye Field // Oil Industry. – 2018. – № 10. – P. 36–41.
3. Tiab J. Donaldson. Petrophysics: Theory and Practice of Studying Reservoir Properties of Rocks and Reservoir Fluid Movement / Tiab J. Donaldson, Ch. Earl. – M. : Premium Engineering, LLC. 2009. – 868 p.

УДК 622.276

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ РИФЕЙСКОЙ ЗАЛЕЖИ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

♦♦♦♦♦

MICROBIOLOGICAL METHODS FOR ENHANCED OIL RECOVERY AT THE RIPHEAN YURUBCHENO-TOKHOMSKOYE FIELD

Степанов Руслан Илдарович
аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений института нефти и газа, Сибирский федеральный университет
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Аннотация. Юрубчено-Тохомское месторождение одно из наиболее известных и уникальных в Красноярском крае и Российской Федерации. Оно обладает уникальным продуктивным резервуаром, который обладает наличием трещин, каверн и сложным строением пустотного пространства. Для повышения работы и увеличения нефтеотлачи пластов применяются на месторождении самые разные способы (кислотное туннелирование, кислотная обработка скважин, селективная кислотная обработка) и т.д. Они позволяют восстановить проницаемость призабойной зоны пласта и повысить дебит добывающих скважин. В представленной работе рассматривается возможность использования микробиологического метода увеличения нефтеотдачи, на примере Юрубчено-Тохомского месторождения.

Ключевые слова: кислотная обработка скважины, микробиологические методы увеличения нефтеотдачи карбонатный коллектор трещиноватость кавернозность.

Stepanov Ruslan Ildarovich
Postgraduate Student of the Department of Oil and Gas Field Development and Operation, Oil and Gas Institute, Siberian Federal University
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Annotation. The Yurubcheno-Tokhomskoye field is one of the most well-known and unique in the Krasnoyarsk Krai and the Russian Federation. It possesses a unique productive reservoir characterized by fractures, caverns, and a complex void structure. To enhance reservoir performance and increase oil recovery, a variety of methods (acid tunneling, acidizing wells, selective acidizing), etc., are used at the field. These methods help restore the permeability of the near-wellbore zone and increase the flow rate of producing wells. This paper examines the feasibility of using a microbiological method to enhance oil recovery, using the Yurubcheno-Tokhomskoye field as an example.

Keywords: acidizing wells, microbiological methods for enhancing oil recovery, carbonate reservoir, fracturing, cavernosity.

Микробиологические методы воздействия на продуктивный пласт – это способ увеличения нефтеотдачи, применяемый на месторождениях, в результате которого происходит взаимодействие бактерий и их жизнедеятельность. Основные механизмы вытеснения нефти с применением данной методики является в следующем [1]:

Образование микроорганизмами ПАВ биогенной природы, что приводит к снижению межфазного натяжения на границе раздела фаз «нефть – вода», «нефть – горная порода», получение различного вида органических кислот (карбоновые кислоты биогенного происхождения), которые расширяют поровые каналы горных пород, повышение пластового давления Рпл за счет выделения микроорганизмами газов N_2, CO_2, CH_4, H_2, увеличение смачиваемости породы водой [2]. При воздействии чаще всего применяются бактерии, которые участвуют в увеличении нефтеотдачи, а именно УВОБ – углеводородные бактерии (аэробы), которые развиваются в зоне активного присутствия, или же наличия кислорода и ББ – бродильные бактерии (аэробы и анаэробы), которые живут как в аэробной так и в анаэробной зоне, МОБ – метанообразующие бактерии (анаэробы), которые развиваются в анаэробной зоне, где имеется недостаток кислорода и СВБ – сульфатовосстанавливающие бактерии, которые развиваются в анаэробной зоне [3]. Микроорганизмы легко поглощают АСПО, остатки продуктов жидкости глушения и буровых растворов и является универсальным методом увеличения нефтеотдачи.

Юрубчено-Тохомское месторождение обладает уникальным геологическим строением продуктивного резервуара, наличием зон повышенной трещиноватости и кавернозности [4]. В большинстве случаев при разработке и эксплуатации столь уникального по своему строению месторождения, наблюдается загрязнение призабойной зоны разного рода продуктами технических жидкостей и результатами работ при про-

ведении некачественного вторичного вскрытия продуктивного пласта. Применение микробиологического воздействия на призабойную зону скважин позволяет восстанавливать показатели работы скважин и тем самым увеличивать добычу нефти. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты применения микробиологического воздействия на призабойную зону пласта

Скважина	Дебит до обработки, $м^3$/сут	Дебит после обработки, $м^3$/сут
Р-457	20	80
Р-089	55	65
Р-345	65	111
Р-789	23	100
Р-890	30	85

Заключение

Таким образом в представленной работе было установлено, что применение микробиологических способов увеличения нефтеотдачи в условиях карбонатного коллектора Юрубчено-Тохомского месторождения, позволяет увеличивать нефтеотдачу в разного рода условиях, являясь уникаль-ным средством повышения работы скважин, в условиях карбонатного трещиноватого коллектора.

Литература

1. Управление продуктивностью нефтяных и газовых скважин и методы увеличения нефтеотдачи пластов : учебник / А.К. Битнер [et al.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2025. – 344 с.
2. Биометоды увеличения нефтеотдачи : учеб. пособие / Н.А. Еремин [и др.]; Под ред. Н.Т. Мищенко. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 125 с.
3. Муслимов Р.Х. Современные методы повышения нефтеизвлечения: проектирование, оптимизация и оценка эффективности : учеб. пособие. – Казань : Фэн, 2005. – 688 с
4. Степанов Р.И. Обзор методов выделения параметров зон трещиноватости при оценке фильтрационных свойств трещин с учетом геолого-геофизических данных сложно построенного рифейского карбонатного коллектора Юрубчено-Тохомского месторождения / Р.И. Степанов, Е.В. Прокатень // Нефтепромысловое дело. – 2024. – № 11(671). – С. 15–26.

References

1. Oil and Gas Well Productivity Management and Enhanced Oil Recovery Methods : textbook / A.K. Bitner [et al.]. – Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2025. – 344 p.
2. Biomethods for Enhanced Oil Recovery : textbook / N.A. Eremin [et al.]; Ed. by N.T. Mishchenko. – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2003. – 125 p.
3. Muslimov R.Kh. Modern Methods of Enhanced Oil Recovery: Design, Optimization, and Efficiency Evaluation : textbook. – Kazan : Feng, 2005. – 688 p.
4. Stepanov R.I. Review of methods for identifying fracture zone parameters when assessing fracture filtration properties, taking into account geological and geophysical data of the complex Riphean carbonate reservoir of the Yurubcheno-Tokhomskoye field / R.I. Stepanov, E.V. Prokaten // Oilfield Engineering. – 2024. – № 11(671). – P. 15–26.

УДК 622.244.5

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ НА ДЕПРЕССИИ

♦♦♦♦♦

TECHNICAL AND ECONOMIC PRINCIPLES FOR SELECTING GEOLOGICAL TARGETS FOR UNDERBALANCED DRILLING

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonov@internet.ru

Аннотация. В статье приведено описание процесса бурения с депрессией на продуктивный пласт, его преимущества и ограничения как геолого-технологического, так и экономического характера. Описывается вопрос выбора максимально допустимой величины депрессии, который обусловлен тремя основными ограничениями. Приведена величина допустимой депрессии на пласты горных пород в зависимости от глубины скважины и пластового давления, приведено описание факторов, которыми обусловлен прирост дебита, а также влияние типа бурового раствора на продуктивность скважин в различных районах РФ.

Ключевые слова: заканчивание скважин на депрессии; бурение с депрессией на продуктивный пласт; геолого-технологические и экономические ограничения метода; выбор максимально допустимой величины депрессии; допустимая депрессия на пласты горных пород; повышение добывных возможностей скважин; влияние типа бурового раствора на продуктивность скважин.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director of the Drilling Fluids Department of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonov@internet.ru

Annotation. This article describes the process of underbalanced drilling into a productive formation, outlining its advantages as well as its geological, technical, and economic limitations. It addresses the selection of the maximum allowable pressure drawdown, a decision governed by three primary constraints. The article presents the permissible drawdown values for rock formations in relation to well depth and reservoir pressure, discusses the factors that contribute to increased flow rates, and examines the impact of drilling fluid type on well productivity across various regions of the Russian Federation.

Keywords: well completion under underbalanced conditions; drilling a productive formation under underbalanced conditions; geological, technical, and economic limitations of the method; selection of the maximum allowable underbalance value; permissible underbalance for rock formations; increasing the production potential of wells; influence of drilling fluid type on well productivity.

К настоящему времени в Российской практике бурения накоплен определённый научный и промысловый опыт заканчивания скважин на депрессии, который можно считать первым этапом развития отечественного опыта.

Бурение с депрессией на продуктивный пласт является наиболее приемлемым методом для большинства старых и истощённых месторождений, так как он позволяет одновременно избежать загрязнения пласта, повысить продуктивность скважин и увеличить конечный объём извлекаемой нефти. Кроме этого, исключаются случаи прихвата бурильных труб за счёт дифференциального давления и поглощения промывочной жидкости, а также значительно увеличивается скорость механического бурения.

Однако у этого метода есть и немало ограничений, как геолого-технологического, так и экономического характера, к числу которых следует отнести:

- невозможность проводки скважин в условиях неустойчивости стенок открытого ствола;
- возможность обрушения ствола в зоне коллекторов, сложенных несцементированными песчаниками;
- сложности при выборе величины депрессии на стадии вскрытия разнонапорных горизонтов;
- наличие в продуктивной части разреза высокодебитных газовых или водяных горизонтов.

К экономическим ограничениям относится обязательное превышение прибыли от дополнительно добытой нефти над фактическими затратами на бурение.

Работы под давлением, включающие все технологические операции от первичного вскрытия продуктивного пласта в условиях депрессии до ввода скважины в эксплуатацию, предопределяют поступление пластовых флюидов в ствол скважины.

В этой связи вопрос выбора максимально допустимой величины депрессии (ΔР) обусловлен тремя основными ограничениями:

1) сохранение устойчивости скелета коллектора под действием геостатического давления $\Delta P_{геост}$;

2) предотвращение разрушения коллектора вследствие интенсивного выноса песка, т.е. не превышение максимально допустимого критического $Q_{кр}$ дебита скважины $\Delta P_{п}$;

3) не превышение интенсивности притока пластового флюида $Q_{ж}$, воспринимаемого промывочной жидкостью с сохранением рабочих параметров $\Delta P_{ж}$.

По первому условию допускается депрессия на стенки скважины $\Delta P_{геост}$ в пределах 10–15 % от величины эффективных скелетных напряжений $\sigma_{ск}$:

$$\Delta P_{геост} = (0{,}10 \div 0{,}15) \cdot \sigma_{ск} . \quad (1)$$

Значение $\sigma_{ск}$ определяется по известной зависимости:

$$\sigma_{ск} = P_{геост} - P_{пл} , \quad (2)$$

где $P_{геост}$ – геостатическое давление горных пород; $P_{пл}$ – пластовое давление.

Однако в одних случаях допустимая депрессия в 10 % от величины эффективных скелетных напряжений будет пренебрежительно мала, в других очень высока, а в-третьих – бурение на депрессии может оказаться вообще невозможным.

В целях определения области применения технологии бурения на депрессии нами выполнены расчёты её допустимой величины на пласты, залегающие на глубине от 500 до 4500 м при различных коэффициентах аномальности пластового (порового) давления в пределах от 0,25 до 2,0 (табл. 1).

Таблица 1 – Величина допустимой депрессии на пласты горных пород в зависимости от глубины скважины и пластового давления

Коэффициент аномальности пластового давления $K_{ан} = \frac{P_{пл}}{P_{геост}}$	Допустимая депрессия на пласты горных пород $\Delta P_{доп} = 0{,}1 \cdot (P_{гор} - P_{пл})$, МПа, залегающие на глубинах, м								
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
0,25	0,70	1,40	2,20	3,10	4,00	5,20	6,50	8,00	9,50
0,50	0,57	1,20	1,80	2,60	3,40	4,40	5,70	7,10	8,40
1,00	0,33	0,70	1,10	1,60	2,20	2,90	4,00	5,10	6,20
1,50	0,08	0,20	0,40	0,60	1,00	1,50	2,20	3,10	4,00
2,00	–	–	–	–	–	0,01	0,50	1,20	1,80
Средняя плотность горных пород ρгор, кг/м^3	1670	1700	1750	1820	1900	2000	2150	2300	2400
Горное давление $P_{гор}$, МПа	8,2	16,7	25,8	35,7	46,6	58,9	73,8	90,3	105,9

Анализ результатов расчётов из таблицы 1 следует, что при коэффициенте аномальности пластового давления в пределах 0,25–0,50, характерном для истощённых месторождений, бурение на депрессии целесообразно вести, начиная с глубины более 1000 м. С ростом глубины более 2000 м нет необходимости поддерживать депрессию, равную предельно допустимой, т.е. $\Delta P = 0{,}1 \cdot (P_{гор} - P_{пл})$, так как её численное значение превышает 2,6 МПа. При таких депрессиях может произойти разрушение околоствольной зоны скважины.

В условиях АВПД реализовать бурение на депрессии возможно лишь с глубин более 2500 м при $K_{ан}$ = 1,5 и более 4000 м при $K_{ан}$ = 2,0.

В заштрихованной зоне таблицы 1 выделена рациональная область применения технологии бурения на депрессии по глубинам и значениям коэффициента $K_{ан}$, в которой удовлетворяется требование «Единых правил ведения буровых работ» при выборе допустимой величины депрессии на стенки скважины при бурении.

В других областях (сочетаний $K_{ан}$ и глубины скважины) следует существенно корректировать эту величину по критериям устойчивости коллектора, протяжённости необсаженной части ствола и угла его наклона, а также типа насыщающего пласт флюида, коэффициента продуктивности и др.

По второму условию (из приведённых выше ограничений), исходя из уравнений притока пластового флюида к забою скважины, имеют место следующие соотношения:

- для газонасыщенного коллектора:

$$\Delta P = \frac{a \cdot Q_{кр} + b \cdot Q_{кр}^2}{P_{пл} + P_{заб}}, \tag{3}$$

- для нефтенасыщенного коллектора:

$$\Delta P = a \cdot Q_{кр} + b \cdot Q_{кр}^2, \tag{4}$$

где a и b – коэффициенты фильтрационных сопротивлений; $Q_{кр}$ – максимально допустимый дебит, при котором возможно разрушение коллектора.

Коэффициенты a и b, а также $Q_{кр}$ определяются по результатам гидродинамических исследований скважин на месторождении, в которых планируется проведение работ в условиях депрессии.

При отсутствии результатов гидродинамических исследований допустимая депрессия может быть определена по уравнению:

$$\Delta P \le \frac{\sigma}{2} - \xi \cdot \left(P_г - P_{пл}\right), \tag{5}$$

где ξ – коэффициент бокового распора, который определяется по формуле $\xi = \frac{\nu}{1-\nu}$ (здесь ν – коэффициент Пуассона).

По третьему ограничительному условию для облегчённых несжимаемых промывочных жидкостей предельно допустимая депрессия определяется по известной зависимости:

$$\Delta P \le \frac{q}{K_{пр}}, \tag{7}$$

где $K_{пр}$ – коэффициент продуктивности;

$q \le \left(Q_{скв} + Q_{цс}\right) \cdot 0{,}2$ – для нефти; (8)

$q \le \left(Q_{скв} + Q_{цс}\right) \cdot 0{,}1$ – для пластовой воды. (9)

Следует отметить, что для условий использования азотированной нефти в качестве технологической жидкости третье ограничивающее условие не применяется.

Как правило, при бурении с депрессией на пласт скважины заканчиваются открытым забоем, а вскрытие продуктивного пласта осуществляется с промывкой нефтью. В качестве же базы для сравнения при оценке ожидаемого прироста дебита используются серийные скважины с закрытым забоем, пробуренные с использованием растворов на водной основе.

В этом случае прирост дебита обусловлен воздействием трёх факторов:

1) совершенства конструкции забоя скважины;

2) состава и свойств бурового раствора;

3) величины депрессии.

Поэтому важно оценить вклад каждого фактора в повышении добывных возможностей скважин, так как основные дополнительные затраты на реализацию технологии вскрытия продуктивных пластов на депрессии связаны именно с её материальным обеспечением.

Первые два фактора могут быть реализованы при использовании серийного оборудования и традиционной технологии бурения с репрессией на пласт без особых дополнительных материально-технических и финансовых затрат.

Анализ промысловых материалов по бурению скважин на ряде месторождений с использованием различных буровых технологических жидкостей (табл. 2–3) показывает, что только замена раствора на водной основе раствором на углеводородной основе (РУО) приводит к увеличению продуктивности скважин в 3,0–3,5 раза в различных районах и геолого-технических условиях.

Таблица 2 – Влияние типа бурового раствора на продуктивность скважин в различных районах РФ

Месторождение	Коэффициент продуктивности скважин, $м^3$/сут. · атм. при вскрытии пласта		Увеличение продуктивности скважин при вскрытии на РУО
	на водном растворе	на РУО	
Арланское	0,93	2,84	3,05
Абдрахмановская площадь Ромашкинского месторождения	3,60	8,50	2,36
Среднее по 13 скважинам различных площадей Татарии	0,058	0,21	3,59
Вахское	0,12	0,45	3,75

Таблица 3 – Влияние типа бурового раствора на средний начальный дебит скважин нефтяного месторождения Татарии

№ скважины	Пористость, %	Фазовая проницаемость, $мкм^2$	Тип раствора при вскрытии	Начальный дебит, тонн/сут.
15830	23,0	0,440	РУО	16
15831	25,0	0,625	РУО	14
16678	23,0	0,440	РУО	10
среднее значение			РУО	13,3
15845	22,5	0,400	глинистый	5,0
16746	23,0	0,440	глинистый	3,0
среднее значение			глинистый	4,0

Для оценки влияния типа бурового раствора и совершенства вскрытия пласта особенно наглядна информация, приведённая в таблице 4, из которой следует, что и при совершенной конструкции забоя использование РУО повышает удельный дебит скважин в 3,7 раза по сравнению с раствором на водной основе.

На базе имеющегося промыслового материала можно констатировать, что при прочих равных условиях бурение на РУО обеспечивает повышение продуктивности скважин по сравнению с традиционными растворами на водной основе в 3,0–3,5 раза. Также более высоки дебиты скважин, законченных открытым забоем, по сравнению со скважинами, имеющими закрытую конструкцию забоя с применением стандартных перфораторов (табл. 5).

Таблица 4 – Влияние совершенства забоя скважины и типа бурового раствора, применяемого для вскрытия пластов, на удельный дебит скважин на одном из газонефтяных месторождений Пермского края

№ скважины	Эффективная толщина пласта, м	Конструкция забоя	Тип раствора	Дебит скважины после освоения, тонн/сут.	Удельный дебит, тонн/сут. · м
2170	3,8	закрытая (перфорированная обсадная колонна)	безглинистый плотностью 1,22 г/см^3	0,9	0,24
2134	3,6	открытая	безглинистый плотностью 1,03 г/см^3	10,3	2,86
717	2,0	открытая	РУО плотностью 1,22 г/см^3	21,3	10,65

Таблица 5 – Величина ОП после вторичного вскрытия продуктивных пластов перфоратором ПК-105 (10 отв./м) при репрессии 2 МПа на месторождениях Западной Сибири

Месторождение	Проницаемость пласта, мкм^2 · 10^{-3}	ОП		Коэффициент снижения продуктивности
		после первичного вскрытия	после вторичного вскрытия	
Покамасовское	10	0,18	0,09	2,00
	30	0,68	0,36	1,89
Ново-Покурское	13	0,33	0,17	1,94
	55	0,80	0,42	1,90
	140	0,90	0,47	1,91
Южно-Харампурское	22	0,70	0,34	2,05
	54	0,87	0,46	1,89
	110	0,92	0,48	1,92

С учётом вышеизложенного возникает целесообразность провести оценку потенциального дебита скважин, пробуренных с депрессией на пласт.

В связи с тем, что скважины, вскрывающие продуктивные пласты с депрессией, зачастую заканчиваются с открытым забоем и оборудуются фильтрами, необходимо определить степень снижения проницаемости коллекторов в результате образования кольматационного слоя по следующей формуле:

$$n = A \cdot \sigma \cdot K_{пл}^{-0,33}, \quad (10)$$

где n – степень снижения проницаемости, раз; σ – межфазное натяжение фильтрата раствора на границе с углеводородной жидкостью, мН/м; $K_{пл}$ – проницаемость пласта, мкм^2; A – коэффициент пропорциональности.

Полагая, что при вскрытии на депрессии не происходит загрязнения пласта, т.е. проницаемость его по сравнению с пластом, вскрытым на репрессии, как бы увеличивается в «n» раз, определим повышение дебита при вскрытии пласта на депрессии по формуле:

$$N_{деб} = \frac{3 \cdot n \cdot K_{пл}}{2 \cdot K_{пл} + n \cdot K_{пл}}, \quad (11)$$

где $N_{деб}$ – степень повышения дебита при вскрытии на депрессии, раз.

Учитывая, что скважины, законченные открытым забоем, имеют дебит более высокий, чем скважины, законченные традиционным способом (цементированием и перфорацией обсадной колонны), общее ожидаемое увеличение дебита скважин при бурении на депрессии составит:

$$N_{деб}^{ож} = \frac{N_{деб}}{\text{ОП}}, \qquad (12)$$

где ОП – отношение продуктивностей призабойной зоны пласта и удалённой незагрязнённой зоны (коэффициент, характеризующий степень гидродинамического совершенства скважины) (определяется с помощью компьютерной программы после перфорации).

Расчёт ожидаемого увеличения дебита по сравнению с серийными скважинами при бурении с депрессией продуктивного пласта проницаемостью 0,055 мкм^2 осуществляется по формулам (10)-(12):

$$n = 0{,}4 \cdot 52 \cdot 0{,}055^{-0{,}33} = 54;$$

$$N_{деб} = \frac{3 \cdot 54}{2 + 54} = 2{,}89;$$

$$N_{деб}^{ож} = \frac{2{,}89}{0{,}42} = 6{,}9.$$

Результаты расчётов для пластов различной проницаемости приведены в таблице 6, из которой видно, что практически для большинства коллекторов со средней проницаемостью от 0,05 до 0,2 мкм^2 потенциальное повышение продуктивности по сравнению с серийными скважинами с открытым забоем составляет 1,9–2,0 раза, а по сравнению со скважинами, имеющими закрытую конструкцию забоя, – в 6–7 раз.

Таблица 6 – Степень повышения дебита скважин при вскрытии продуктивных пластов различной проницаемости на депрессии

Проницаемость пласта $K_{пл}$, мкм^2	ОП после перфорации	Степень снижения проницаемости закольматированного слоя n	Степень повышения дебита при вскрытии пласта на депрессии $N_{деб}$ для совершенной скважины	Степень увеличения дебита по сравнению с серийными скважинами
0,013	0,17	87	2,93	17,2
0,055	0,42	54	2,89	6,9
0,140	0,46	40	2,86	6,0
0,400	0,62	28	2,80	4,5
1,000	0,75	21	2,70	3,6
1,300	0,75	19	2,70	3,6

Для коллекторов с проницаемостью 0,3–0,4 мкм^2 значение $N_{деб}^{ож}$ = 4–5 раз, а для высокопроницаемых коллекторов с K > 1 мкм^2 величина $N_{деб}^{ож}$ = 4 раза, т.е. эффективность вскрытия тем выше, чем меньше проницаемость пласта.

Установлено, что наиболее эффективным является вскрытие с депрессией пластов с проницаемостью до 0,5 мкм^2.

Однако практически в низкопроницаемых (0,05–0,2 мкм^2) заглинизированных коллекторах скважины, законченные с закрытым забоем, имеют примерно такие же дебиты, как и скважины с открытым забоем. Это обусловлено тем, что в низкопроницаемых коллекторах с содержанием глинистого цемента от 11 до 17 % при отсутствии перфорации существенное влияние на продуктивность скважин оказывает проникновение не ингибированного фильтрата бурового раствора, приводящее к набуханию

глинистых фрагментов пласта, а с другой стороны, к развитию высоких капиллярных давлений, что, в конечном итоге, сводит до минимума преимущества, получаемые от более совершенной степени вскрытия пласта открытым забоем. Поэтому при оценке степени повышения продуктивности скважин, заканчиваемых с депрессией на пласт в низкопроницаемых коллекторах, учитывать различия в конструкции забоя, очевидно, не следует.

В методике экономической оценки выбора объекта бурения с депрессией на пласт используется система показателей, отражающая деятельность предприятия в условиях рыночной экономики, основными из которых являются:

1) *капитальные вложения* рассчитываются по следующим направлениям затрат:

- эксплуатационное бурение (на основании объёмов бурения добывающих скважин и полной стоимости строительства при обычной технологии и в условиях депрессии на пласт);
- оборудование, не входящее в сметы строек (исходя из фактических затрат на добывающую скважину и вводимого их количества);
- нефтепромысловое обустройство;

2) *эксплуатационные расходы* в соответствии с «Инструкцией по планированию, учёту и калькулированию себестоимости добычи нефти и газа», включают в себя затраты на:

- вспомогательные материалы (на основании удельных текущих затрат и объёма добываемой жидкости);
- топливо (на основании удельных текущих затрат и объёма добываемой жидкости);
- электроэнергию (исходя из удельных текущих затрат и объёмов добываемой нефти);
- заработную плату (на основании среднегодовой заработной платы и численности промышленно-производственного персонала);
- амортизацию;
- капитальный ремонт (на основании удельных текущих затрат и среднедействующего фонда скважин);
- прочие эксплуатационные расходы.

3) *чистая прибыль* рассчитывается как разность между выручкой от реализации продукции и затратами на её изготовление с включением налоговых выплат. При этом расчёт прибыли выполняется с дисконтированием и без дисконтирования;

4) *чистый доход* (NV) определяется как разница между чистыми притоками и оттоками денежных средств. Он формируется за счёт чистой прибыли и амортизационных отчислений за вычетом капитальных затрат;

5) *чистый дисконтированный доход* (NPV) определяется приведением текущих чистых доходов к начальному шагу с помощью коэффициента приведения (нормы дисконтирования). Норма дисконтирования принята на уровне 10 %;

6) *индекс доходности* определяется отношением суммы приведённых к начальному уровню (дисконтированных) поступлений (выручки от реализации добываемой продукции) к сумме приведённых (дисконтированных) расходов и выплат (капитальных, эксплуатационных, налоговых);

7) *окупаемость проекта* определяется количеством лет, по истечении которых отрицательные начальные значения чистого дохода (с дисконтированием или без дисконтирования) полностью компенсируются последующими положительными значениями;

8) *внутренняя норма рентабельности* (IRR) представляет собой ту норму дисконтирования, при которой интегральный эффект (NPV) равен нулю.

Выбор типа коллекторов для рентабельного бурения скважин с депрессией на пласт рекомендуется осуществлять по следующей процедуре:

- принимается, что для этой цели пригодны коллектора, обеспечивающие соблюдение условия:

$$Q_{рент} \le Q_{скв.депр}\,, \tag{13}$$

где $Q_{рент}$ – рентабельный дебит, тонн/сут.; $Q_{скв.\ депр}$ – дебит скважины, законченной с депрессией, тонн/сут.;

- рентабельный дебит находится из следующего выражения:

$$Q_{рент} = \frac{A \cdot C_{скв}}{C_{нефт}}\,, \tag{14}$$

где $C_{скв}$ – стоимость строительства скважины, тыс. руб. (стоимость скважин в Западной Сибири с депрессией на 30–35 % выше); $C_{нефт}$ – стоимость 1 тонны нефти, тыс. руб.; А – коэффициент, зависящий от стоимости нефти и строительства скважин (0,009–0,011);

- дебит скважины при заканчивании её на депрессии определяется из следующего выражения:

$$Q_{скв}^{депр} = \frac{3 \cdot n \cdot q_{скв}}{(n+2) \cdot \text{ОП}}\,, \tag{15}$$

где n – степень снижения проницаемости приствольной зоны за счёт кольматации; $q_{скв}$ – дебит серийной скважины, законченной с репрессией на пласт, тонн/сут.; ОП – отношение продуктивностей приствольной зоны и незагрязнённой удалённой зоны пласта, доли ед.

Литература

1. Бурение скважин на нефть и газ в условиях аномально проницаемых трещинных коллекторов с аномально высоким пластовым давлением флюидной системы / А.Г. Вахромеев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 5. – С. 11–18. DOI: 10.30713/0130-3872-2019-5-11-18
2. Бурение горизонтальных участков скважин с применением бурового раствора на основе прямой эмульсии и винтового забойного двигателя / И.В. Камаев [и др.] // Бурение & Нефть. – 2023. – № 3. – С. 48–51.
3. Мельникова Е.В. Повышение эффективности освоения скважин на месторождениях Восточной Сибири / Е.В. Мельникова, В.И. Нифантов // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 2. – С. 18–24.
4. Савенок О.В. Разработка принципов, методов и технологий ресурсосбережения для нефтедобычи с учётом комплекса факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S46. – С. 3–60.
5. Савенок О.В. Геологические особенности освоения трудноизвлекаемых залежей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 8. – С. 130–135.
6. Прогнозирование безаварийной работы добывающих скважин с горизонтальным окончанием в условиях высокого выноса механических примесей на примере северо-Комсомольского месторождения / О.В. Савенок [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 223–239. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4368
7. Анализ результатов применения технологических жидкостей и газожидкостных систем для бурения и ремонта скважин в условиях АНПД / А.А. Сингуров [и др.] // Нефтяная провинция. – 2020. – № 1(21). – С. 56–72. DOI: 10.25689/NP.2020.1.56-72
8. Соболева Т.И. Опыт и перспективы применения технологии вскрытия продуктивных пластов на депрессии / Т.И. Соболева, Е.В. Соболева // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 11. – С. 62–70.
9. Тамамянц Т.Л. Выбор допустимой величины депрессии и степени аэрации промывочной жидкости для заданных горногеологических условий // Бурение и нефть. – 2008. – № 11. – С. 32–35.
10. Бурение продуктивных горизонтов с пониженным пластовым давлением в Западной Сибири: прямая эмульсия «масло в воде» BARADRIL-N® / Mineral Oil / Е.В. Тихонов [и др.] // Бурение & Нефть. – 2013. – № 10. – С. 50–52.

11. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
12. 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.
13. Бурение в высокопроницаемых продуктивных горизонтах в Восточной Сибири: Эмульсия «масло в воде» / А.Б. Харитонов [и др.] // Нефть и газ Евразия. – 2013. – № 2. – С. 44–48.

References

1. Drilling oil and gas wells in conditions of abnormally permeable fractured reservoirs with abnormally high reservoir pressure of the fluid system / A.G. Vakromeev [et al.] // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2019. – № 5. – P. 11–18. DOI: 10.30713/0130-3872-2019-5-11-18
2. Drilling of horizontal well sections using a drilling fluid based on a direct emulsion and a screw downhole motor / I.V. Kamaev [et al.] // Drilling & Oil. – 2023. – № 3. – P. 48–51.
1. Melnikova E.V. Improving the efficiency of well development at fields in Eastern Siberia / E.V. Melnikova, V.I. Nifantov // Territory Neftegaz. – 2015. – № 2. – P. 18–24.
2. Savenok O.V. Development of principles, methods and technologies for resource conservation in oil production, taking into account a complex of factors // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2013. – № S46. – P. 3–60.
5. Savenok O.V. Geological Features of Developing Hard-to-Recover Deposits // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2013. – № 8. – P. 130–135.
6. Predicting trouble-free operation of production wells with horizontal completion under conditions of high carryover of mechanical impurities: a case study of the North-Komsomolskoye field / O.V. Savenok [et al.] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. – 2024. – Vol. 335. – № 6. – P. 223–239. DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4368
7. Analysis of the results of the use of process fluids and gas-liquid systems for drilling and repairing wells in ANPD conditions / A.A. Singurov [et al.] // Petroleum Province. – 2020. – № 1(21). – P. 56-72. DOI: 10.25689/NP.2020.1.56-72
8. Soboleva T.I. Experience and prospects for using the technology of opening productive formations under depression / T.I. Soboleva, E.V. Soboleva // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2015. – № 11. – P. 62–70.
9. Tamamyants T.L. Selection of the permissible value of depression and the degree of aeration of the drilling fluid for the given mining and geological conditions // Drilling and Oil. – 2008. – № 11. – P. 32–35.
10. Drilling of productive horizons with reduced reservoir pressure in Western Siberia: direct «oil-in-water» emulsion BARADRIL-N® / Mineral Oil / E.V. Tikhonov [et al.] // Drilling & Oil. – 2013. – № 10. – P. 50–52.
11. Tikhonov E.V. Analysis of the problems associated with well drilling and the development of oil and gas reservoirs in challenging conditions // Science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206–222.
12. Tikhonov E.V. Selection of drilling fluid formulations to eliminate and prevent complications during well drilling in permafrost conditions // Bulatov Readings. – 2024. – Vol. 1. – P. 314–320.
13. Drilling in highly permeable productive horizons in Eastern Siberia: Oil-in-water emulsion / A.B. Kharitonov [et al.] // Oil and Gas Eurasia. – 2013. – № 2. – P. 44–48.

УДК 622.244.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ НАСЫЩЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕБУЕМОЙ ДЕПРЕССИИ И ПРОФИЛЯ СКВАЖИНЫ

♦♦♦♦♦

DETERMINATION OF THE DEGREE OF INERT GAS SATURATION OF THE DRILLING FLUID BASED ON THE REQUIRED PRESSURE DRAWDOWN AND THE WELL PROFILE

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonov@internet.ru

Аннотация. В статье выполнено определение степени насыщения промывочной жидкости инертным газом в зависимости от величины требуемой депрессии и профиля скважины. Определены показатели и параметры перед началом работ по бурению при отрицательном дифференциальном давлении. Описана методика определения оптимальной степени газонасыщения промывочной жидкости, позволяющая учитывать различные факторы при проектировании технологических режимов вскрытия продуктивных пластов в условиях депрессии.

Ключевые слова: степень насыщения промывочной жидкости инертным газом; оптимальный режим промывки в условиях депрессии; минимальная скорость восходящего потока жидкой фазы; возникновения отрицательного дифференциального давления; совместимость жидкости с пластовым флюидом; вскрытие продуктивных пластов в условиях депрессии; зависимость забойного давления от режимов промывки скважины.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director of the Drilling Fluids Department of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonov@internet.ru

Annotation. The article determines the degree of inert gas saturation of the drilling fluid based on the required pressure drawdown and the well profile. Key indicators and parameters are established for drilling operations conducted under negative differential pressure. A methodology is described for determining the optimal gas saturation level of the drilling fluid, enabling the consideration of various factors when designing operational procedures for penetrating productive formations under drawdown conditions.

Keywords: degree of inert gas saturation of the circulation fluid; optimal circulation mode under underbalanced conditions; minimum upward flow velocity of the liquid phase; occurrence of negative differential pressure; fluid compatibility with formation fluid; penetration of productive formations under underbalanced conditions; dependence of bottomhole pressure on well circulation modes.

Зачастую, ввиду сложных геолого-технических условий в скважинах, для обеспечения требуемого уровня забойного динамического давления необходимо применение облегчённых газифицированных промывочных жидкостей. Для газификации жидкостной системы может быть применён целый ряд методов, основной целью которых является снижение эффективной плотности промывочной жидкости.

При выборе оптимального режима промывки в условиях депрессии руководствуются следующими основными принципами:

1) забойное циркуляционное давление должно быть меньше пластового давления;

2) минимальная скорость восходящего потока жидкой фазы газожидкостной смеси в затрубном пространстве должна быть достаточной, чтобы обеспечить эффективный вынос шлама на поверхность;

3) количество жидкости, проходящей через забойный двигатель, должно быть достаточным для обеспечения его работы и передачи необходимого вращающего момента на долото.

Поскольку сжимаемость газов выше сжимаемости жидкостей, доля жидкости в облёгченном буровом растворе будет изменяться по мере движения потока вниз по бурильной колонне и вверх по кольцевому пространству. По мере повышения давления объёмная и эффективная плотность жидкости будут возрастать. Согласно закону Бойля, объём любой массы газа обратно пропорционален его давлению, поэтому по мере продвижения газа вверх по кольцевому пространству он подвергается воздействию отрицательного дифференциального давления, позволяющего газу расширяться.

При бурении с применением сжимаемых флюидов (буровых растворов) их плотность варьируется между плотностью чистой жидкости и чистого газа. Это метод, при котором один или несколько наиболее широко применяемых циркулирующих флюидов (вода или раствор) насыщаются или заменяются газами с высокой степенью сжимаемости. Газ выполняет большую часть функций бурового раствора, которые сводятся к охлаждению долота и выносу на поверхность бурового шлама из ствола скважины.

Структура и свойства указанных буровых растворов в значительной мере зависят от относительных объёмов газа и жидкости, т.е. от степени газонасыщения промывочной жидкости инертным газом.

Применение в процессе бурения сжимаемого флюида ограничивается специфическим набором условий, связанных с особенностями литологического и порового давления, и осуществляется в тех случаях, когда может быть достигнута значительная экономия времени бурения и денежных средств, несмотря на потребность в дополнительном оборудовании. В качестве сжимаемого флюида применяются азот, природный газ, выхлопной газ или другие газы.

Азот, безусловно, является наиболее распространённым газом, применяемым в настоящее время для снижения массы циркулирующего столба флюида в процессе бурения на депрессии. Азот нетоксичен, не горюч и не вызывает коррозии, он мало растворим в углеводородах и ещё менее в воде, а также совместим практически с любым флюидом, применяемым при производстве буровых работ. Кроме того, азот не имеет тенденции к образованию гидратных комплексов или эмульсий. Известно, что атмосферный воздух состоит из следующих компонентов: азот – 78,03 %; кислород – 20,93 %; аргон – 0,93 % и прочие газы – 0,11 %; поэтому азот, применяемый при бурении скважин, обычно извлекается посредством процесса разделения атмосферного воздуха на молекулы азота и кислорода через мембранную систему или за счёт фракционной перегонки.

Для обеспечения возникновения отрицательного дифференциального давления в стволе скважины необходим промежуток времени для регулирования исходного притока углеводородов в ствол скважины и стабилизации системы циркуляции. Перед началом работ по бурению при отрицательном дифференциальном давлении необходимо определить следующие показатели и параметры:

- выбрать тип нагнетаемого флюида;
- определить оптимальное значение степени газонасыщения промывочной жидкости;
- выбрать метод нагнетания и порядок управления режимными параметрами на поверхности.

При выборе типа жидкой фазы руководствуются следующими основными принципами и требованиями:

- совместимость жидкости с пластовым флюидом, который может поступать в скважину;
- технологические характеристики образуемой дисперсной системы должны удовлетворять выбранному режиму промывки скважины.

Оптимальный выбор жидкости зависит от конкретных пластовых условий на объекте, как, например, тип пласта, механизм вытеснения, давление, заданный уровень депрессии. Регулирование забойного давления, главным образом, обеспечивается за счёт выбора типов и соотношений нагнетаемых жидкостей и газов.

Для выбора режима промывки необходимо определить степень газонасыщения промывочной жидкости при условии создания требуемого уровня депрессии на вскрываемый пласт, обеспечения стабильной работы забойного двигателя и качественной очистки ствола скважины от шлама.

С целью решения этих задач нами разработана методика определения оптимальной степени газонасыщения промывочной жидкости, позволяющая учитывать вышеизложенные факторы при проектировании технологических режимов вскрытия продуктивных пластов в условиях депрессии.

Существующие методы, применяемые для прогнозирования градиента давления, можно классифицировать как эмпирические корреляции или механистические модели, используя которые представляется возможным прогнозировать изменение забойного давления в зависимости от типа профиля скважины (вертикальные, наклонно-направленные и горизонтальные).

Прогнозирование снижения давления для одновременного течения многофазной системы в стволе скважины является крайне сложным процессом. Наиболее важную сторону многофазного течения представляет изменение физического распределения фаз в кольцевом пространстве, что обозначается общим термином «структура потока» или «режим течения». При многофазном течении по стволу структура потока зависит от относительных значений сил, действующих на флюид: плавучести, турбулентности, инерции и поверхностного натяжения, изменяющихся по мере величины расхода жидкости, диаметра труб, угла наклона ствола скважины и физических характеристик флюида.

Ниже приведён фрагмент расчёта степени газификации промывочной жидкости для статических условий, исходя из следующего соотношения:

$$G_{газа}^{ст} = \frac{10{,}2 \cdot \left(P_{заб} - P_{уст}^{ст} - \rho_{ж} \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6}\right)}{10^{-4} \cdot \left[\rho_{газа} \cdot H - 36 \cdot \left(T_{ср} + 273{,}15\right) \cdot \ln\left(\frac{P_{заб}}{P_{уст}}\right)\right]}, \ \frac{\text{ст.м}^3 \text{ азота}}{\text{м}^3 \text{ жидкости}}, \quad (1)$$

где $G_{газа}^{ст}$ – расход газа (азота) в стандартных условиях (P_0 = 1,033 кгс/см^2; T = 20 °С); $P_{заб}$ – забойное давление (устанавливается, исходя из требуемой величины депрессии), МПа; $P_{уст}^{ст}$ – давление на устье герметизированной скважины, МПа; $\rho_{ж}$ – плотность исходной жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; H – глубина скважины, м; $\rho_{газа}$ – плотность газа (азота) в стандартных условиях, кг/м^3; $T_{ср}$ – средняя температура по стволу, °С.

Следует иметь в виду, что после остановки циркуляции избыточное давление $P_{уст}^{ст}$ возрастёт на величину:

$$P_{уст}^{ст} = P_{уст}^{дин} + \Delta P_{деп} + \Delta P_{тр}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{деп}$ – депрессия на пласт; $\Delta P_{тр}$ – гидродинамические сопротивления в кольцевом пространстве.

Расчёты степени газонасыщения позволяют построить графики зависимости изменения забойного давления при различных вариантах режимов промывки скважины, что даёт возможность прогнозировать потребное количество технических средств и оборудования (азотные станции, насосный блок). Пример построенных зависимостей представлен на рисунке 1.

Общее забойное давление для многофазного течения складывается из следующих основных компонентов:

- давления гидростатического столба газожидкостной смеси;
- избыточного давления на устье при промывке скважины;
- давления в результате потерь напора от трения в трубах;
- давления в результате ускорения или изменения кинетической энергии многофазного флюида.

Давление в результате подъёма флюида является функцией плотности смеси многофазного флюида и может быть рассчитано по уравнению для многофазной смеси, допуская проскальзывание флюидов в верхней части. По рекомендациям Международной конференции буровых подрядчиков по проблеме бурения на депрессии избыточное давление на устье ($P_{уст}^{дин}$) при промывке скважины не следует превышать

более 5–10 кгс/см^2. Давление в результате потерь напора от трения в трубах требует оценки коэффициента трения при многофазном течении, а давление в результате ускорения потока зачастую ничтожно мало и игнорируется в основной массе расчётов, кроме случаев с высокоскоростным течением или в случае наличия сжимаемой фазы при низком давлении, как, например, в газлифтных скважинах на устье. Давление, вызываемое высотой столба смеси флюидов, составляет наиболее значительную часть общего давления, кроме случаев с высокой скоростью течения, когда потери давления при ускорении могут быть очень велики.

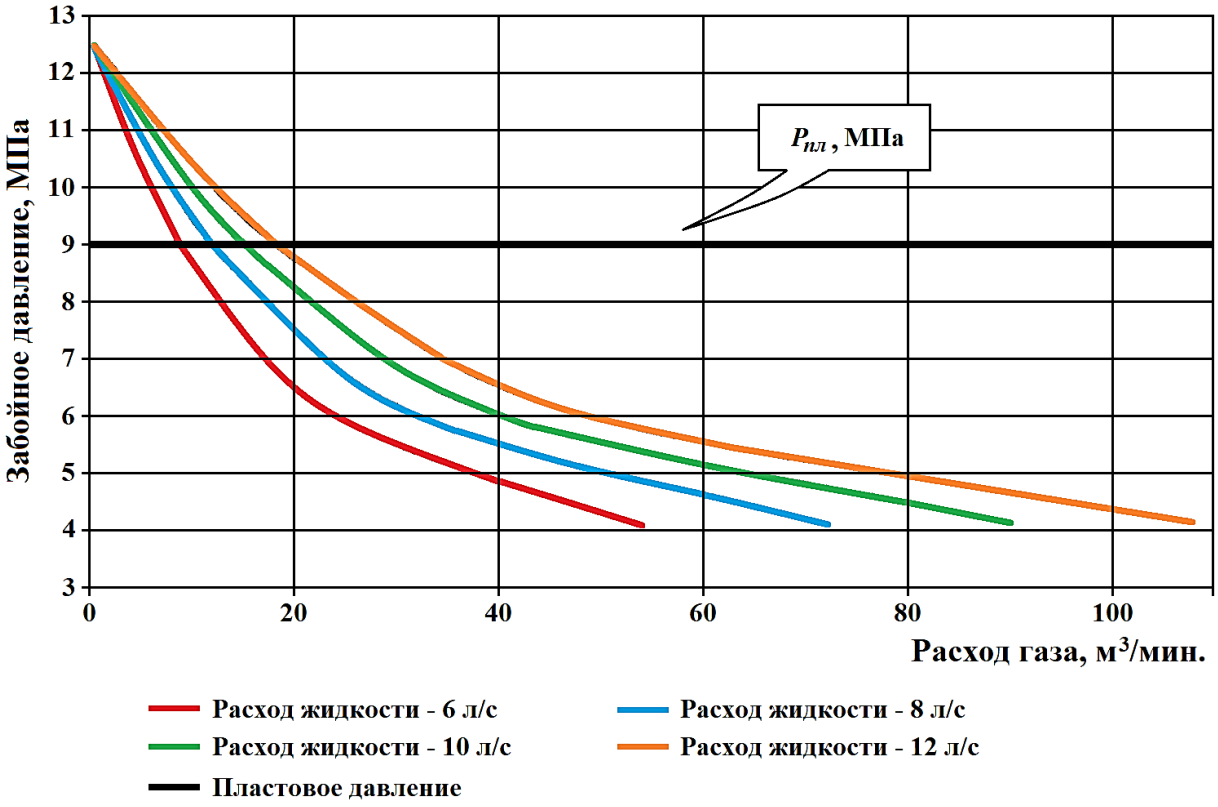

Рисунок 1 – Зависимость забойного давления от режимов промывки скважины

Данная методика использовалась при разработке проектов регламентов и выборе оптимальных режимов промывки при вскрытии продуктивных пластов в условиях депрессии на месторождениях ряда нефтяных компаний. Для подтверждения теоретических расчётов степени газонасыщения перед вскрытием пласта произведён ряд промысловых экспериментов. Для этого в скважину спустили компоновку, включающую два контейнера с дублирующими друг друга глубинными манометрами «Микон-107». Осуществили перевод скважины на товарную нефть с плотностью 870 кг/м^3 и произвели промывку скважины на различных режимах по два цикла на каждом режиме.

На рисунке 2 представлена динамика изменения забойного давления в реальном времени в зависимости от степени насыщения промывочной жидкости, т.е. соотношения жидкой и газообразной фаз при различных режимах промывки.

При проведении промысловых испытаний технологии вскрытия продуктивных пластов в условиях депрессии получены величины с высокой степенью сходимости с прогнозируемыми показателями.

Проведённый промысловый эксперимент подтвердил правильность выбранного режима промывки, что позволило приступить к вскрытию продуктивного пласта с режимом промывки – 6 л/с по жидкости и 15 м^3/мин. по азоту с обеспечением степени газонасыщения величиной 41,7 ст. м^3 азота / 1 м^3 нефти.

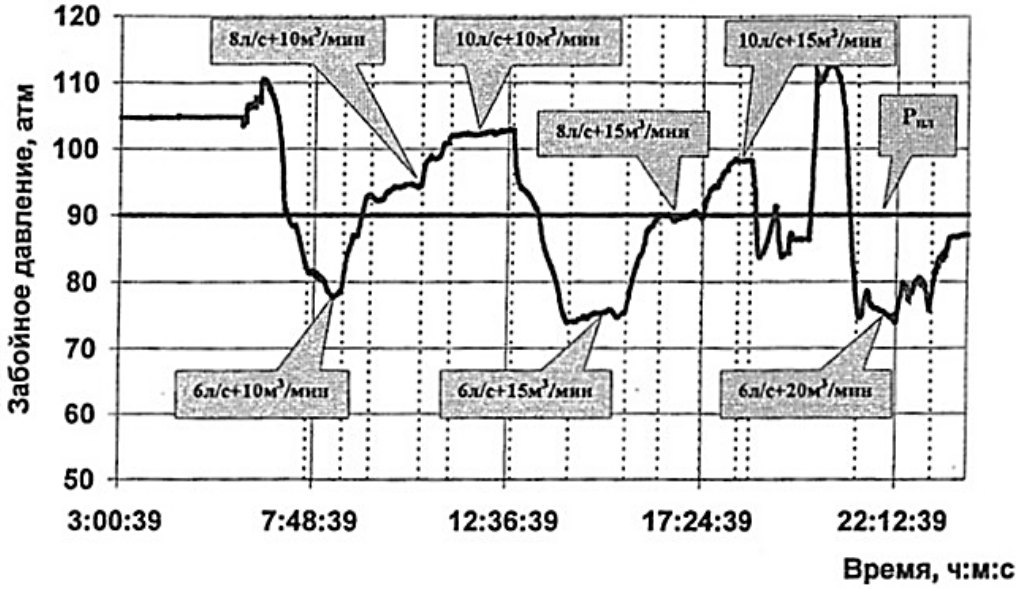

Рисунок 2 – Динамика изменения забойного давления в зависимости от степени газонасыщения промывочной жидкости и режима промывки

Результаты выполненных исследований показали, что данная методика во многом упрощает процесс выбора режимных параметров для осуществления вскрытия продуктивного пласта в пределах заданной величины забойного давления. При этом обеспечивается экономия времени и материальных средств вследствие исключения или значительного сокращения этапов промысловых испытаний по подбору оптимального значения соотношения газовой и жидкой фаз методом проб и ошибок.

Литература

1. Двойников М.В. Обоснование возможности и оценка эффективности применения технологии бурения скважин на депрессии с регулируемым давлением / М.В. Двойников, Н.Ю. Кузнецова, Я.Д. Минаев // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. – № 9(345). – С. 5–9. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-9(345)-5-9
2. Квеско Н.Г. Бурение на депрессии – перспективный метод вскрытия продуктивных пластов для обеспечения максимальной производительности скважин / Н.Г. Квеско, А.А. Харитонов // Академический журнал Западной Сибири. – 2014. – Т. 10. – № 4(53). – 17 с.
3. Коба Е.М. Бурение на депрессии с применением азота / Е.М. Коба, А.Е. Анашкина // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции (02-03 ноября 2017 года, г. Тюмень). – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 68–71.
4. Мишин С.А. Бурение скважин на депрессии / С.А. Мишин, Р.Х. Туктаров, В.Н. Коньков // Интервал. Передовые нефтегазовые технологии. – 2008. – № 7(126). – С. 10–12.
5. Современные технологии вскрытия трещиноватых карбонатных пород-коллекторов на депрессии при бурении горизонтальных скважин / Д.Г. Подопригора [и др.] // Нефть, газ, промышленность. – 2014. – № 1(51). – С. 20–25.
6. Савенок О.В. Разработка принципов, методов и технологий ресурсосбережения для нефтедобычи с учётом комплекса факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S46. – С. 3–60.
7. Бурение на депрессии в сложных горно-геологических условиях Восточной Сибири / С.А. Сверкунов [и др.] // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геонауки – 2019» (24-26 апреля 2019 года, г. Иркутск). – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 30–34.
8. Соболева Т.И. Опыт и перспективы применения технологии вскрытия продуктивных пластов на депрессии / Т.И. Соболева, Е.В. Соболева // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 11. – С. 62–70.
9. Тагиров К.М. Бурение скважин в условиях депрессии на пласт / К.М. Тагиров, В.И. Нифантов, А.Н. Гноевых // Наука и технология углеводородов. – 2000. – № 6. – С. 60–65.
10. Тамамянц Т.Л. Выбор допустимой величины депрессии и степени аэрации промывочной жидкости для заданных горно-геологических условий // Бурение и нефть. – 2008. – № 11. – С. 32–35.

11. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
12. 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.
13. Тихонов Е.В. Основные направления снижения стоимости буровых работ и капитального ремонта скважин / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова; Под редакцией 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.
14. Тихонов Е.В. Анализ изменения плотности нагнетаемой в скважину аэрированной жидкости / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 50–52.
15. Шмончева Е.Е. Исследование преимуществ способа бурения на депрессии с целью применения его на месторождениях Вьетнама / Е.Е. Шмончева, Д.Д. Нго // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 3. – С. 338–340.

References

1. Dvoynikov M.V. Justification of the feasibility and assessment of the efficiency of using underbalanced drilling technology with pressure control / M.V. Dvoynikov, N.Yu. Kuznetsova, Ya.D. Minaev // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2021. – № 9(345). – P. 5–9. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-9(345)-5-9
2. Kvesko N.G. Underbalanced drilling as a promising method for penetrating productive formations to ensure maximum well productivity / N.G. Kvesko, A.A. Kharitonov // Academic Journal of Western Siberia. – 2014. – Vol. 10. – № 4(53). – 17 p.
3. Koba E.M. Underbalanced Drilling Using Nitrogen / E.M. Koba, A.E. Anashkina // Oil and Gas of Western Siberia: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (November 2–3, 2017, Tyumen). – Tyumen : Industrial University of Tyumen, 2017. – P. 68–71.
4. Mishin S.A. Underbalanced Well Drilling / S.A. Mishin, R.Kh. Tuktarov, V.N. Konkov // Interval. Advanced Oil and Gas Technologies. – 2008. – № 7(126). – P. 10–12.
5. Modern technologies for penetrating fractured carbonate reservoir rocks under underbalanced conditions during horizontal well drilling / D.G. Podoprigora [et al.] // Oil, Gas, Industry. – 2014. – № 1(51). – P. 20–25.
6. Savenok O.V. Development of principles, methods, and technologies for resource conservation in oil production, accounting for a complex set of factors // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2013. – № S46. – P. 3–60.
7. Underbalanced drilling in complex geological conditions of Eastern Siberia / S.A. Sverkunov [et al.] // Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, and Methods of Geological Research: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Geosciences – 2019» (April 24–26, 2019, Irkutsk). – Irkutsk : Irkutsk National Research Technical University, 2019. – P. 30–34.
8. Soboleva T.I. Experience and prospects for the application of underbalanced drilling technology for penetrating productive formations / T.I. Soboleva, E.V. Soboleva // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2015. – № 11. – P. 62–70.
9. Tagirov K.M. Well Drilling Under Formation Pressure Drawdown Conditions / K.M. Tagirov, V.I. Nifantov, A.N. Gnoevykh // Science and Technology of Hydrocarbons. – 2000. – № 6. – P. 60–65.
10. Tamamyants T.L. Selection of Permissible Pressure Drawdown and Aeration Level of Drilling Fluid for Specific Geological Conditions // Drilling and Oil. – 2008. – № 11. – P. 32–35.
11. Tikhonov E.V. Analysis of Challenges in Well Drilling and Penetration of Oil and Gas Formations Under Complex Conditions // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206–222.
12. Tikhonov E.V. Selection of Drilling Fluid Formulations to Eliminate and Prevent Complications During Well Drilling in Permafrost Conditions // Bulatov Readings. – 2024. – Vol. 1. – P. 314–320.
13. Tikhonov E.V. Key Approaches to Reducing the Cost of Drilling Operations and Well Workovers / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova; Ed. by R.V. Aginey // SEVERGEOEKOTEKH – 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.
14. Tikhonov E.V. Analysis of density changes in aerated fluid injected into a well / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // Petroleum Engineer. – 2025. – № 2. – P. 50–52.
15. Shmoncheva E.E. Investigation of the advantages of underbalanced drilling for application in oil fields in Vietnam / E.E. Shmoncheva, D.D. Ngo // Bulatov Readings. – 2018. – Vol. 3. – P. 338–340.

УДК 532.13

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ

♦♦♦♦♦

THE INFLUENCE OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF OIL ON THE CHOICE OF TRANSPORT AND STORAGE TECHNOLOGY

Федотова М.В.
старший преподаватель
кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
starodub.m@mail.ru

Мананкова М.В.
студентка кафедры технологии нефти и газа,
Кубанский государственный технологический университет
manankova05@inbox.ru

Аннотация. В статье рассмотрено влияние физико-химических свойств нефти (плотности, вязкости, содержания парафинов, асфальтенов, смол, температуры застывания и фракционного состава) на выбор технологий транспортировки и хранения. Установлено, что освоение трудноизвлекаемых запасов высоковязких и парафинистых нефтей требует использования специализированных методов.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, реология, парафиноотложения, трубопроводный транспорт, хранение нефти, испарение легких фракций.

Fedotova M.V.
Senior Lecturer at the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
starodub.m@mail.ru

Manankova M.V.
Student of the Department
of Oil and Gas Technology,
Kuban State Technological University
manankova05@inbox.ru

Annotation. The article examines the influence of the physicochemical properties of oil (density, viscosity, content of paraffins, asphaltenes, resins, pour point, and fractional composition) on the choice of transportation and storage technologies. It has been established that the development of hard-to-recover reserves of highly viscous and paraffinic oils requires the use of specialized methods.

Keywords: high-viscosity oil, rheology, paraffin deposits, pipeline transport, oil storage, evaporation of light fractions.

По мере исчерпания запасов легких маловязких нефтей все большее значение приобретает добыча трудноизвлекаемых запасов, представленных высоковязкими и парафинистыми нефтями. Мировые геологические ресурсы тяжелых нефтей оцениваются в 700 млрд т, что соизмеримо с мировыми запасами обычной нефти, а геологические запасы высоковязкой нефти в России достигают 75 млрд т. Однако их применение требует использования специальных дорогостоящих технологий, так как такая нефть сложна в переработке и из-за высокой вязкости ее сложно перекачивать. Операционные затраты по добыче и транспортировке тяжелой нефти в 3–4 раза превосходят эти затраты для легкой нефти. В связи с этим выбор технологии транспорта и хранения нефти напрямую определяется ее физико-химическими свойствами [1]. Нефть представляет собой сложную смесь углеводородов различных классов – алканов, циклоалканов и аренов, а также гетероатомных соединений – смол и асфальтенов. Именно соотношение этих компонентов определяет ключевые транспортные характеристики сырья. При низком содержании высокомолекулярных соединений нефть ведет себя как ньютоновская жидкость и может перекачиваться при обычных температурах. В противном случае, при высоком содержании парафинов и асфальтенов, нефть приобретает свойства неньютоновской среды, вязкость которой зависит от скорости сдвига и температурной предыстории [2]. Наиболее значимыми параметрами для выбора технологии транспорта являются вязкость и температура застывания. Вязкость высоковязких нефтей быстро увеличивается при снижении температуры, и застывает такая нефть при сравнительно низких температурах. В состав высоковязкой нефти входит большое количество парафинов: при высоких температурах она является маловязкой жидкостью, однако при снижении температуры ниже начала кристаллизации в ней начинают выделяться кристаллы парафина, количество которых увеличивается по мере снижения температуры. Вязкость в пластовых условиях

для месторождений тяжелой высоковязкой нефти варьируется от относительно небольших значений 20 МПа·с до величин, близких к значениям природного битума (9000 МПа·с), при этом большинство месторождений имеют вязкость в пределах 1000 МПа·с. Температурная зависимость вязкости нефти описывается уравнениями типа Аррениуса или эмпирическими корреляциями, например уравнением Беггса-Робинсона: lg(μ) = 10^(3,0324 − 0,02023·API) × T^(−1,163) − 1. Для неньютоновских нефтей применяются модели Шведова-Бингама ($\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$), степенная модель Оствальда-де Вале и их модификации. Выбор конкретной реологической модели определяется природой нефти и диапазоном температур эксплуатации трубопровода [3]. Для нефтей, сохраняющих текучесть при нормальных условиях, применяется традиционная перекачка по трубопроводам. Однако для высоковязких и парафинистых нефтей требуются специальные технологии. Наиболее распространенным методом является «горячая перекачка» – нагрев нефти до температуры, при которой парафины полностью растворяются, а вязкость снижается до приемлемых значений, который представлен на рисунке 1:

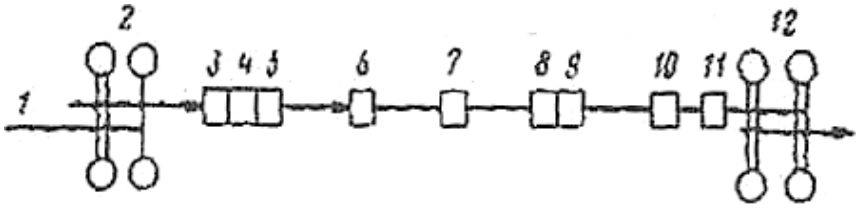

Рисунок 1 – Схема горячей перекачки:
1 – трубопровод; 2 – резервуарный парк; 3 – насосы; 4 – подогреватели;
5 – основные насосы; 6,7,9, 10,11 – промежуточные тепловые станции;
8 – промежуточные насосные установки; 12 – сырьевой парк

При повышении температуры воздуха в дневное время резервуар нагревается, увеличивается испарение нефтепродуктов, особенно легколетучих фракций, а следовательно, растут давление и температура парогазовой смеси в резервуаре, срабатывает дыхательный клапан, и паровоздушная смесь выходит в окружающую среду. Ночью давление парогазовой смеси снижается, создается частичный вакуум, и воздух через впускной клапан поступает в газовое пространство резервуара. Для расчета потерь от «малых дыханий» применяются эмпирические формулы, учитывающие истинное давление паров при температуре жидкости, диаметр резервуара и климатические коэффициенты [4]. Выбор технологии хранения определяется давлением насыщенных паров нефти. Для нефтей с высоким содержанием легких фракций применяются резервуары с плавающей крышей или понтоном, что позволяет сократить потери от «малых дыханий» на 70–80 %. Для особо легких нефтей и газоконденсатов используются подземные резервуары в соляных кавернах, где колебания температуры минимальны, а потери от испарения практически исключены. Системы улавливания легких фракций позволяют рекуперировать пары углеводородов, возвращая их в поток нефти и предотвращая загрязнение атмосферы. Для снижения потерь легких фракций при хранении нефти применяются различные методы: газохранилища, факельное сжигание, мембранное разделение смеси легких фракций, азотное охлаждение, адсорбция с помощью активированного угля, абсорбция нефтяными маслами [5]. Физико-химические свойства нефти – вязкость, температура застывания, содержание парафинов, асфальтенов и легких фракций – являются определяющими факторами при выборе технологии транспорта и хранения. Для высоковязких и парафинистых нефтей требуются специальные методы подготовки, такие как нагрев, разбавление и применение депрессорных присадок, в то время как для легких нефтей ключевой задачей становится минимизация потерь от испарения. [6] Реологические характеристики неньютоновских нефтей описываются моделями Шведова-Бингама и Оствальда-де Вале, а механизмы формирования асфальтосмолопарафиновых отложений определяются молекулярной диффузией парафинов и нарушением равновесного состояния асфальтенов. Ком-

плексный учет реологических и фазовых характеристик сырья на стадии проектирования систем транспорта и хранения позволяет обеспечить энергоэффективность, надежность и экологическую безопасность нефтяной инфраструктуры [7].

Литература

1. Геология и недропользование. – 2022. – № 5. – С. 62–75.
2. Вестник Тюменского государственного университета. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 27–45.
3. Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 52–57.
4. Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 12. – С. 45–52.
5. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18. – № 1.
6. Двухфазное течение вязкопластичной или степенной жидкости: обзор // Журнал механики неньютоновских жидкостей. – 2026.
7. РМГ 107-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Потенциальные потери углеводородов в нефти от испарения.

References

1. Geology and Subsoil Use. – 2022. – № 5. – P. 62–75.
2. Bulletin of Tyumen State University. – 2021. – Vol. 7. – № 4. – P. 27–45.
3. Oil Industry. – 2022. – № 6. – P. 52–57.
4. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2024. – № 12. – P. 45–52.
5. Bulletin of PNIPU. Geology. Oil and Gas and Mining Engineering. – 2018. – Vol. 18. – № 1.
6. Two-phase flow with viscoplastic or power-law fluid: A review // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2026.
7. RMG 107-2010. State system for ensuring the uniformity of measurements. Potential losses of hydrocarbons in oil due to evaporation.

УДК 622.276.66

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ИМПУЛЬСНОГО ГРП ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ КОЛЛЕКТОРОВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И ДОМАНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

♦♦♦♦♦

JUSTIFICATION OF THE APPLICABILITY OF PULSE HYDRAULIC FRACTURING FOR THE DEVELOPMENT OF LOW-PERMEABILITY RESERVOIRS IN THE BAZHENOV FORMATION AND DOMANIK DEPOSITS

Хамиди Алан Ренатович
аспирант,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Казанского (Приволжского) федерального университета;
ведущий технолог
ООО «Промышленная Химия» ГК Миррико
khamidi.alan@mail.ru

Маннанов Ильдар Илгизович
кандидат технических наук,
доцент кафедры разработка и эксплуатация
месторождений трудноизвлекаемых углеводородов,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Казанского (Приволжского) федерального университета
ildarmannanov@mail.ru

Фомина Виктория Михайловна
магистрант,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
vfmnnn@gmail.com

Андрияшин Виталий Владимирович
кандидат химических наук,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Казанского (Приволжского) федерального университета
vandriya@kpfu.ru

Варфоломеев Михаил Алексеевич
кандидат химических наук,
заведующий кафедрой разработка и эксплуатация
месторождений трудноизвлекаемых углеводородов,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Казанского (Приволжского) федерального университета
mikhail.varfolomeev@kpfu.ru

Khamidi Alan Renatovich
Graduate Student,
Institute of Geology and Oil
and Gas Technologies
of Kazan (Volga Region)
Federal University;
Lead technologist LLC «Industrial
Chemistry», Mirriko Group of Companies
khamidi.alan@mail.ru

Mannanov Ildar Ilgizovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department
of Development and Operation
of Hard-to-Recover Hydrocarbon Fields,
Institute of Geology and Oil
and Gas Technologies
of Kazan (Volga Region)
Federal University
ildarmannanov@mail.ru

Fomina Victoria Mikhailovna
Master's Student,
Kazan National Research
Technological University
vfmnnn@gmail.com

Andriyashin Vitaly Vladimirovich
Candidate of Chemical Sciences,
Institute of Geology and Oil
and Gas Technologies
of Kazan (Volga Region)
Federal University
vandriya@kpfu.ru

Varfolomeev Mikhail Alekseevich
Candidate of Chemical Sciences,
Head of the Department of Development
and Operation of Hard-to-Recover
Hydrocarbon Deposits,
Institute of Geology and Oil
and Gas Technologies
of Kazan (Volga Region)
Federal University
mikhail.varfolomeev@kpfu.ru

Аннотация. В работе обоснована применимость импульсного гидравлического разрыва пласта (ГРП) для интенсификации разработки низкопроницаемых нефтематеринских толщ. Рассмотрены механизмы циклического нагружения, включая накопление усталостных повреждений, снижение давления инициирования трещин и вовлечение естественной трещиноватости. На основе лабораторных, численных и промысловых данных изучены возможные области, а также ограничения применения технологии импульсного ГРП применительно к объектам нетрадиционных коллекторов Баженовской свиты и Доманиковых отложений. Показано, что импульсное воздействие целесооб-

Annotation. This paper substantiates the applicability of pulse hydraulic fracturing for stimulating the development of low-permeability source-rock formations. It examines mechanisms of cyclic loading, including fatigue damage accumulation, reduction of fracture initiation pressure, and the activation of natural fractures. Drawing on laboratory, numerical, and field data, the study investigates the potential applications and limitations of pulse hydraulic fracturing technology for unconventional reservoirs within the Bazhenov and Domanik formations. It is demonstrated that pulse-based stimulation should not

разно использовать не как универсальную замену многостадийному гидравлическому разрыву пласта, а как элемент гибридного дизайна. Импульсный режим закачки жидкости перспективен с точки зрения предварительного циклического нагружения, кратковременной модуляции подачи в начале операции и мини-ГРП. Сформулированы требования к геомеханическому обоснованию, подбору частоты и амплитуды импульсов, а также контролю роста трещин.

Ключевые слова: импульсный гидравлический разрыв пласта; многостадийный гидравлический разрыв пласта; Баженовская свита; Доманиковые отложения; низкопроницаемый коллектор; циклическое нагружение; трещинообразование.

be viewed as a universal substitute for multistage hydraulic fracturing but rather as a component of a hybrid design. Pulsed fluid injection shows promise for applications involving preliminary cyclic loading, short-term flow rate modulation at the start of the operation, and mini-fracturing treatments. Requirements are outlined regarding geomechanical justification, the selection of pulse frequency and amplitude, and the monitoring of fracture propagation.

Keywords: pulse hydraulic fracturing; multistage hydraulic fracturing; Bazhenov Formation; Domanik deposits; low-permeability reservoir; cyclic loading; fracture formation.

Введение

Разработка низкопроницаемых нефтематеринских толщ требует создания протяженной и высокопроводимой системы фильтрационных каналов между матрицей пласта и горизонтальным стволом скважины. В традиционном многостадийном ГРП основным управляющим параметром служит постоянный или ступенчато изменяемый расход жидкости. Однако такой режим не всегда обеспечивает равномерное раскрытие всех трещин. Значительная доля жидкости может поступать в доминирующие трещины, тогда как инициирование и дальнейшее распространение трещин из других перфорационных интервалов ограничиваются вследствие межтрещинной интерференции и экранирования напряжений [1].

Импульсный ГРП отличается от монотонной закачки периодической модуляцией расхода и давления рабочей жидкости, реализуемой посредством циклического изменения подачи насосных агрегатов или применения гидродинамических пульсаторов в нагнетательном тракте [2]. Механизм воздействия включает кратковременное превышение локального порога разрушения, циклическое раскрытие и смыкание трещин, развитие усталостных микроповреждений, изменение эффективных напряжений и вовлечение естественных трещин в единую фильтрационную систему (рис. 1).

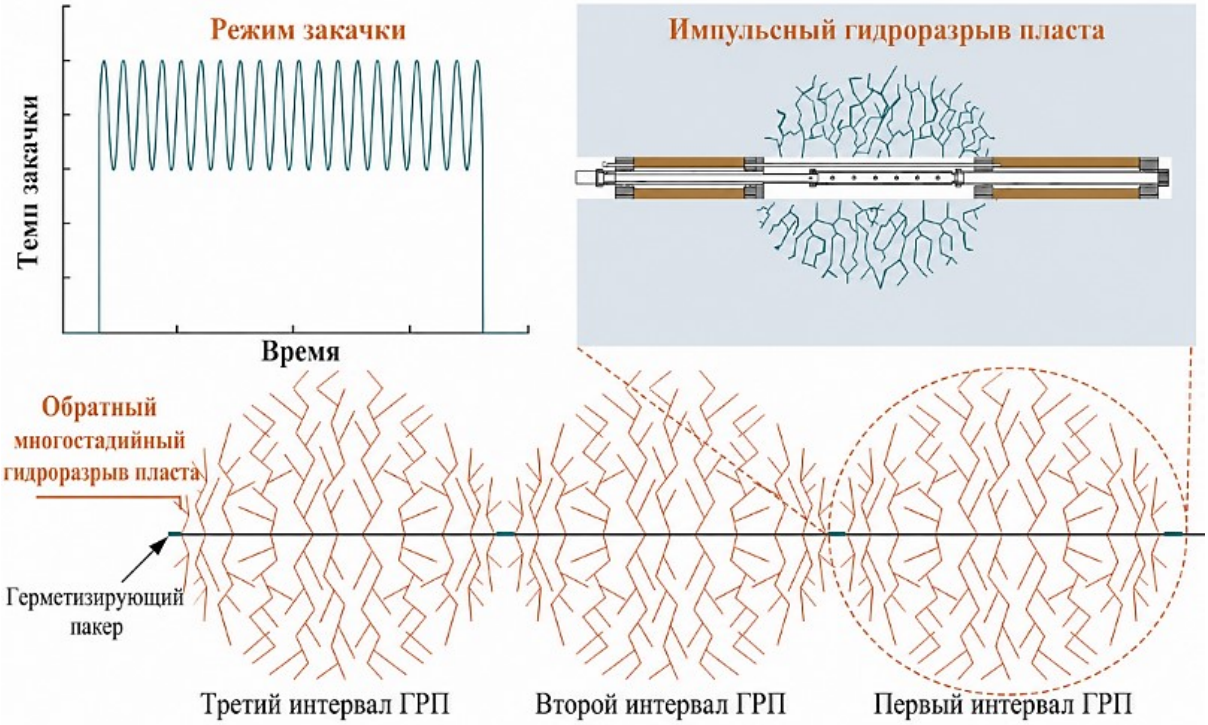

Рисунок 1 – Принцип многоступенчатого импульсного гидравлического разрыва пласта в протяженной горизонтальной скважине

В работе R. Safari и соавторов, посвященной импульсному ГРП сланцевых пород, показано, что циклическое нагружение способно изменить характер разрушения породы в области перехода от пластичного к хрупкому поведению. Авторы связывают перспективность технологии с формированием более разветвленной сети трещин при снижении требуемого давления инициирования по сравнению с непрерывной закачкой [3].

Однако эффективность операции определяется сочетанием предварительной комплексной оценки геомеханики и напряженного состояния пород, естественной трещиноватости, свойств жидкости разрыва и режима освоения скважины.

Современные исследования преимущественно подтверждают данные положения [1, 3–5]:

Циклическая нагрузка вызывает накопление повреждений и уменьшает остаточную прочность пород.

Эффект зависит от амплитуды, частоты и длительности импульса, а также от изначального напряженного состояния пород.

Лабораторный результат нельзя без масштабирования переносить на протяженные трещины МГРП в горизонтальной скважине.

Последнее обстоятельство особенно существенно для Российских сланцевых формаций, отличающихся высокой литологической неоднородностью и контрастными геомеханическими свойствами.

Методы и объекты исследования

Объектами технологической оценки выбраны Баженовская свита Западной Сибири, Доманиковые отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Общими для этих объектов являются низкая проницаемость матрицы, существенная роль органического вещества, слоистость, минералогическая неоднородность и необходимость применения горизонтальных скважин с многостадийным ГРП. Однако формации различаются по глубине, пластовому давлению, термобарическим условиям, хрупкости, содержанию карбонатов и характеру природной трещиноватости, что исключает возможность применения единого дизайна технологии.

Для оценки применимости импульсного режима ГРП были приняты следующие критерии оценки: снижение давления разрушения, степень вовлечения незадействованных интервалов, изменение геометрии и связности трещин, риск неконтролируемого роста трещины по естественным проводящим зонам, возможность подачи и удержания пропанта, прирост дебита и накопленной добычи относительно контрольных скважин, удельные затраты на жидкость ГРП, а также энергетические затраты.

Результаты и обсуждение

При моделировании многостадийного ГРП в горизонтальной скважине сланцевого коллектора с применением расширенного метода конечных элементов сопоставлялись постоянная закачка и импульсная закачка при одинаковом суммарном объеме жидкости 200 м³ (J. Xiao и др.). Авторы установили, что пульсирующее нагружение способствует дополнительному росту части трещин, прежде всего связанных с породами, менее подверженными межтрещинной интерференции [1]. Доминирующие трещины усиливались, тогда как трещины в крайних или экранированных продуктивных толщах не распространялись. Таким образом, импульсный режим сам по себе еще не обеспечивает равномерного перераспределения закачиваемой жидкости. Увеличение расхода при частоте 1 Гц с 2 до 3 м³/мин повышало амплитуду давления в модели с 24 до 35 МПа и интенсифицировало развитие лишь доминирующих трещин. Следовательно, технологическая задача заключается не в достижении максимальной амплитуды импульса, а в подборе такого сочетания расхода и частоты, при котором энергия расходуется на активацию незадействованных продуктивных толщ, а не на ускоренный рост уже сформированных магистральных трещин.

В работе, посвященной исследованию низкочастотного импульсного воздействия на керне плотных нефтяных пород бассейна Ордос, было получено снижение прочности при сжатии на 15 %, прочности при растяжении на 12 % и давления разрушения примерно на 18 % [4]. Эксперименты выполнялись при частоте 0–50 Гц и амплитуде импульса 1–5 Мпа, причем предпочтительный диапазон частот для разрабо-

танного скважинного генератора был определен в диапазоне 18–20 Гц. Полевые испытания на двух нефтяных скважинах плотного низкопроницаемого коллектора результировали в заметном снижении среднего давления разрушения и росте среднесуточной добычи, относительно других скважин.

Отдельного внимания заслуживают результаты Yu Xu и соавторов, полученные на угольном пласте в шахтных условиях [5]. В лабораторном опыте при предварительном пульсирующем воздействии частотой 8 Гц в течение 2 ч давление разрушения угольных образцов уменьшалось с приблизительно 28 до 19 МПа при увеличении пикового импульсного давления до 9 МПа, то есть на 41,4 %. Расчетная проницаемость возрастала примерно с 1,1–1,2 до 2,2 мДа. В полевом испытании на шахте Changping применяли 15 м³ воды при расходе 120 л/мин, частоте 5–25 Гц и пиковом давление 16 МПа. Газовый поток в обработанных скважинах составлял около 0,17 м³/мин в сравнении 0,07 м³/мин в объектах, не подвергнувшихся обработке.

Данные исследования внесли большой вклад в обоснование механизма усталостного разрушения, но их нельзя непосредственно экстраполировать на сланцевые месторождения. Угольные залежи характеризуется иными упругими параметрами, трещиноватостью, сорбционными процессами и условиями фильтрации.

Для разработки объектов Баженовской свиты промышленно подтверждена эффективность прежде всего горизонтального бурения и многостадийного ГРП. На Пальяновской площади были реализованы многостадийные операции, в опубликованных отраслевых источниках указывается 18-стадийный ГРП с расходом до 14 м³/мин и объем жидкости до 2000 м³ на стадию. Отмечаются промышленные притоки и дополнительная добыча на всех скважинах, подвергнувшихся МГРП.

Импульсное воздействие целесообразно рассматривать в трех вариантах:

1. Как предварительное циклическое нагружение перед закачкой пропанта;
2. Как режим кратковременной модуляции расхода в начале стадии для снижения давления инициирования трещин;
3. В качестве предварительной диагностики для определения реакции пород на давление, расход жидкости и микросейсмический отклик.

Наиболее рискованным является применение высокоамплитудных импульсов с неконтролируемым ростом трещин, поскольку при развитой природной трещиноватости возможно вскрытие водонасыщенных интервалов или формирование низкопроводящих каналов [6, 7].

Для Доманиковых отложений импульсный ГРП потенциально интересен вследствие карбонатно-глинистой неоднородности и наличия естественных трещин. Однако применение должно базироваться на комплексной геомеханической модели, включающей анизотропию напряжений, распределение хрупких карбонатных прослоев, пластовое давление, а также оценку рисков прорыва воды по высокопроводящим естественным трещинам. Ввиду высокой сложности геологического строения является не просто необходимым, а обязательным проведение мини-ГРП, трассерных исследований, контроль давления и сопоставление технологических параметров с контрольными скважинами.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что импульсный гидравлический разрыв пласта обладает обоснованным потенциалом повышения эффективности разработки низкопроницаемых нетрадиционных коллекторов за счет циклического изменения давления, накопления усталостных повреждений породы, снижения давления инициирования трещин и вовлечения естественной трещиноватости в общую фильтрационную систему. Вместе с тем имеющиеся результаты лабораторных, численных и промысловых исследований ограничены и не позволяют считать импульсный режим универсальной заменой традиционному многостадийному ГРП.

Для Баженовской свиты и Доманиковых отложений наиболее обоснованным является его применение в составе гибридной технологии МГРП, предусматривающей предварительное импульсное воздействие и управляемую модуляцию закачки. Однако перед применением данного метода интенсификации необходимо проведение комплексных геомеханических исследований напряженного состояния пород, оценки есте-

ственной трещиноватости, пластового давления, а также комплекс геолого-геофизических мероприятий для предотвращения вскрытия нежелательных водонасыщенных интервалов.

Литература / References:

1. Initiation and propagation of multiple fractures in the horizontal well of shale reservoirs under pulse injection hydraulic fracturing / J. Xiao [et al.] // Energy Exploration & Exploitation. – 2023. – Vol. 41. – № 2. – P. 326–343. – URL : https://doi.org/10.1177/01445987221141117
2. Ren Z., Wang S., Dong K. et al. Exploring the mechanism of pulse hydraulic fracturing in tight reservoirs // Processes. 2023. Vol. 11. № 12. Art. 3398. URL : https://doi.org/10.3390/pr11123398
3. Pulse fracturing in shale reservoirs: geomechanical aspects, ductile/brittle transition, and field implications / R. Safari [et al.] // SPE Journal. – 2015. – Vol. 20. – № 6. – P. 1287–1304. – URL : https://doi.org/10.2118/168759-PA
4. Study and application of pulse hydraulic fracturing for tight oil reservoir / H. Xu [et al.] // International Petroleum Technology Conference, Virtual, 23 March – 1 April 2021. Paper IPTC-21306-MS. – URL : https://doi.org/10.2523/IPTC-21306-MS
5. Prediction of the effects of pulsating hydraulic fracturing on the porous structure and permeability of coal based on NMR and AE spectra / Y. Xu [et al.] // ACS Omega. – 2024. – Vol. 9. – № 19. – P. 21440–21449. – URL : https://doi.org/10.1021/acsomega.4c01799
6. Modelling rock fracture induced by hydraulic pulses / X. Xi [et al.] // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2021. – Vol. 54. – № 8. – P. 3977–3994. – URL : https://doi.org/10.1007/s00603-021-02477-0
7. Experimental study on fracture propagation and induced earthquake reduction by pulse hydraulic fracturing in shale reservoirs / P. He [et al.] // Gas Science and Engineering. 2023. Vol. 110. Article 204908. URL : https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2023.204908

УДК 622.276.054.22

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ АСПО И ВЫСОКОВЯЗКИХ ЭМУЛЬСИЙ НА СКВАЖИНАХ, ОБОРУДОВАННЫХ ШСНУ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF WELL OPERATION EFFICIENCY UNDER CONDITIONS OF ASPHALTENE-RESIN-PARAFFIN DEPOSIT FORMATION AND HIGH-VISCOSITY EMULSION GENERATION IN WELLS EQUIPPED WITH SUCKER-ROD PUMPING UNITS

Шаблий Илья Игоревич
Кубанский государственный технологический университет
ilyashabliy0209@gmail.com

Аннотация. Опыт механизированной эксплуатации скважин на рассматриваемой площади нефтяного месторождения показывает, что в течение некоторого времени, исчисляемого от 1 до 4 месяцев, на поверхности промыслового оборудования образуются отложения парафина и асфальто-смолистых веществ. В статье рассмотрены причины осложнений, возникающих при эксплуатации установок штангового глубинного насоса, сделаны выводы и рекомендации, вытекающие из диаграмм зависимости удельной частоты отказов штанг от различных параметров работы штанговых насосов и условий, в которых они работают. По результатам анализа предложены мероприятия по скважинам, оборудованным ШСНУ.

Ключевые слова: штанговая глубинно-насосная установка; анализ причин образования АСПО; режимы эксплуатации скважин в осложнённых условиях; анализ причин выхода из строя скважин; анализ причин низкой эффективности эксплуатации ШСНУ; основные причины отказов работы ШСНУ; динамограммы скважин с осложнёнными условиями эксплуатации.

Shabliy Ilya Igorevich
Kuban State Technological University
ilyashabliy0209@gmail.com

Annotation. Experience with the artificial lift operation of wells in the studied area of the oil field indicates that paraffin and asphaltene-resin deposits accumulate on the surface of field equipment over a period ranging from 1 to 4 months. This article examines the causes of operational issues associated with sucker-rod pump units and presents conclusions and recommendations derived from plots showing the relationship between the specific rod failure rate and various operating parameters and conditions. Based on the analysis, measures are proposed for wells equipped with sucker-rod pumping units.

Keywords: sucker-rod pumping unit; analysis of the causes of asphaltene, resin and paraffin deposit formation; well operating modes under challenging conditions; analysis of the causes of well failure; analysis of the causes of low sucker-rod pumping unit operating efficiency; primary causes of sucker-rod pumping unit failures; dynamometer cards for wells with challenging operating conditions.

Общие сведения о месторождении

Рассматриваемое нефтяное месторождение является крупнейшим месторождением Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, расположенное на юго-востоке Республики Татарстан.

Площадь расположена в восточной части месторождения (далее Восточная площадь). Основным эксплуатационным объектом площади являются продуктивные терригенные отложения пашийского горизонта верхнего девона (пласт D_1), залегающие на глубине 1630–1815 м (в среднем около 1740 м). Залежь нефти многопластовая, сводовая, с гранулярным типом пористости коллекторов, углы падения не превышают 2°. Общая характеристика продуктивного горизонта D_1 приведена в таблице 1.

Территория Восточной площади занимает около 124 км^2. Площади нефтеносности пластов в соответствии со структурными и литологическими особенностями уменьшаются в основном вниз по разрезу.

Характеризуя в целом строение эксплуатационного объекта, можно отметить, что геологическая модель площади отличается значительной неоднородностью строения слагающих её коллекторов, различием коллекторских свойств выделяемых групп и характерной для пластов верхнепашийской пачки ограниченностью площадного распространения продуктивных отложений. Несомненно, что всё это является в целом осложняющим фактором на протяжении всего периода разработки площади.

Таблица 1 – Общая характеристика продуктивного горизонта D_1 Восточной площади

Глубина залегания, м	Тип залежи	Площадь, км^2	Тип коллектора	Средняя эффективная толщина, м	Средняя нефтенасыщенная толщина, м	Начальное положение водонефтяного контакта (абс. отм.), м
1740	пластово-сводовый	124,0	гранулярный, терригенный	26,9	9,94	–1485,0

Технико-эксплуатационная характеристика фонда скважин

Разбуривание площади продолжается и на сегодняшний день пробуренный фонд насчитывает 487 скважин, из них 46 – ликвидировано, в добыче нефти используется 383 скважин, в нагнетании – 202 скважины, остальные используются как водозаборные, контрольные и находятся в консервации. Полностью структура фонда скважин Восточной площади приведена в таблице 2. В целом технологические показатели разработки площади являются удовлетворительными по сравнению с аналогичными площадями рассматриваемого нефтяного месторождения.

Таблица 2 – Фонд скважин Восточной площади

Показатели	Год			
	2022	2023	2024	2025
Эксплуатационный фонд	348	362	377	383
Действующий фонд	332	338	360	346
фонтан	0	0	0	0
УЭЦН	114	126	146	127
УШГН	218	212	214	219
Бездействующий фонд	16	23	17	37
Дающие техническую воду	6	6	8	10
В консервации	10	17	9	27
Контрольные	41	38	44	44
Наблюдательные	1	2	3	3
Пьезометрические	40	36	41	41
Ликвидированные	45	49	46	46
После эксплуатации	18	16	19	19
Из бурения	27	33	27	27
В ожидании ликвидации	4	3	3	3
Гидрогеологические	4	4	4	4
Экологические	1	1	1	1
Фонд всего	443	457	474	481
Передано в ППД	191	195	202	208

За анализируемый год пробуренный фонд увеличился на 4 скважины. Из 383 добывающих скважин 127 эксплуатируются электроцентробежным насосом, 219 штанговым глубинным насосом. На 01.01.2026 г. с водой эксплуатируется 383 скважин (100 % действующего фонда). Из них с обводнённостью 2 % – 0 скважин, от 2 до 20 % – 43 скважины, от 20 до 50 % – 45 скважин, от 50 до 90 % – 143 скважин, свыше 90 % – 146 скважины. Имеются все тенденции к дальнейшему росту обводнённости.

В таблице 3 приведён действующий фонд скважин Восточной площади по типам наземного и подземного оборудования.

Таблица 3 – Действующий фонд Восточной площади

ШГН				ЭЦН		В бездействии
наземное оборудование	кол-во	подземное оборудование	кол-во	подземное оборудование	кол-во	
СК5-2500	4	НСН1-32	8	ЭЦН5А-250-1400	13	33
UP-9T-2500-3500	29	20-125-RHAM-12-4-2-2	82	ЭЦНМ5-80-1200	33	
СК8-3,5-4000	85	25-175-RHAM-14-4-1,5	76	ЭЦН5-50-1300	18	
ПНШ80-3-40-01	12	25-20-150-RHM-T-12-4	1	ЭЦН5-125-1300	20	
ПЦ60-18-3,0-0,5/2,5	4	20-106-RHAM-12-4	2	ЭЦНА5-45-1450	4	
7СК8-3,5-4000	34	25-150-RHAM-12-4	5	ЭЦН5-60-1200	2	
UP-12T-3000-5500	5	25-225-THM-11-4-2-3	3	ЭЦН-60-1200	3	
СК6-2,1-2500	15	20-225-THM-11-4	2	ЭЦНА5-60-1200	5	
СКД6-2,5-2800	6	25-225-THM-14-4-4	9	ЭЦНМ5-30-1450	1	
ПНШ60-2,1-25-01	4	НВ1С-44	1	ЭЦНА5-200-1250	2	
6СК6-2,1-2500	3	25/20-150-RHM-T-12-4	3	ЭЦНМ5-60-1200	2	
ПНШТ80-3-40	4	25-225-THM-22-10-4	17	ЭЦНА5-60-1350	11	
7СК12-2,5-4000	1	20-106-RHAM-14-4-2-2	1	ЭЦНА5-30-1250	1	
ПЦ80-6,1-1/4	9	25-150-RHBM-12-4	4	ЭЦНА5-200-1450	4	
ПШГТ10-3-5500	1	НСВ1-28	1	ЭЦН5-60-2500	3	
ПНШТ60-3-31,5	2	30-275-THM-Д-22-4-2	2	ЭЦНМ5А-160-1200	2	
СКД8-3-4000	1	НВ1Б-29	1	ЭЦНМ5А-400-1400	2	
				ЭЦНМ5-20-1200	1	
Всего	219	Всего	219	Всего	127	33

На рисунке 1 показано процентное отношение способов эксплуатации скважин Восточной площади.

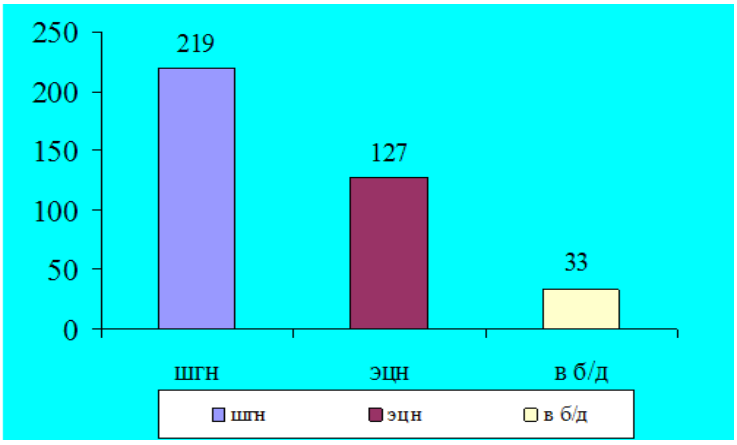

Рисунок 1 – Распределение фонда скважин по типам оборудования

Из рисунка 1 видно, что большую часть действующего фонда Восточной площади составляют скважин, оборудованные ШГН, – 219 ед., оборудованные ЭЦН – 127 ед., в бездействии – 33 скважины.

94 скважины, оборудованные ШГН, эксплуатируется с дебитом менее 5 м^3/сут. (рис. 2), 59 скважин – с дебитом от 5 до 10 м^3/сут. и 56 скважин – с дебитом от 10 до 20 м^3/сут.

Из всего фонда скважин, оборудованных ШГН, более половины (116 скважин) имеют обводнённость более 70 % (рис. 2).

Скважины, оборудованные ШГН, в основном эксплуатируются на глубине от 1100 до 1300 м (рис. 3).

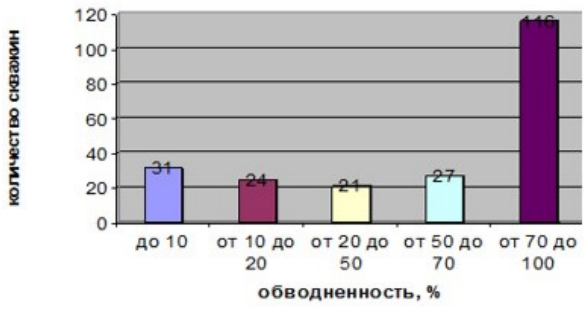

Рисунок 2 – Распределение фонда скважин по обводнённости

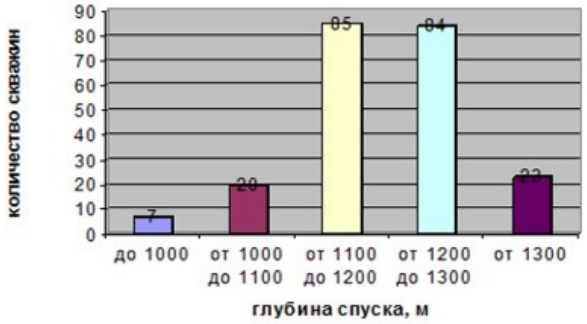

Рисунок 3 – Распределение фонда скважин по глубине спуска

Распределение фонда скважин по динамическому уровню приведено на рисунке 4, распределение фонда скважин по статическому уровню – на рисунке 5.

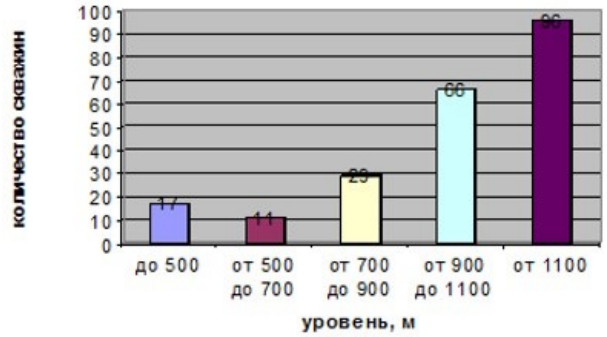

Рисунок 4 – Распределение фонда скважин по динамическому уровню

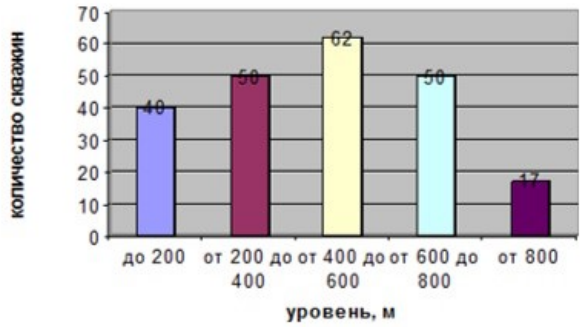

Рисунок 5 – Распределение фонда скважин по статическому уровню

Из рисунка 5 видно, что 96 скважин эксплуатируются с динамическим уровнем свыше 1100 м, 66 скважин – с уровнем в пределах от 900 до 1100 м. Из рисунка 6 видно, что диапазон статических уровней различен и распределен почти поровну. На 40 скважинах статический уровень до 200 м, по 50 скважин имеют уровни от 200 до 400 м и от 600 до 800 м, и 62 скважины имеют уровень от 400 до 600 м.

На рисунке 6 приведено распределение фонда скважин по длине хода в точке подвеса штанг, на рисунке 7 – распределение фонда скважин, оборудованных ШГН, по числу качаний.

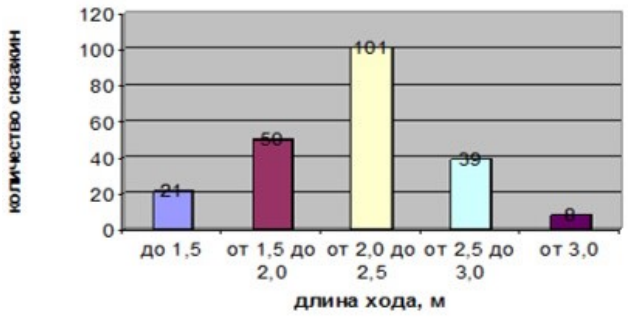

Рисунок 6 – Распределение фонда скважин по длине хода точки подвеса штанг

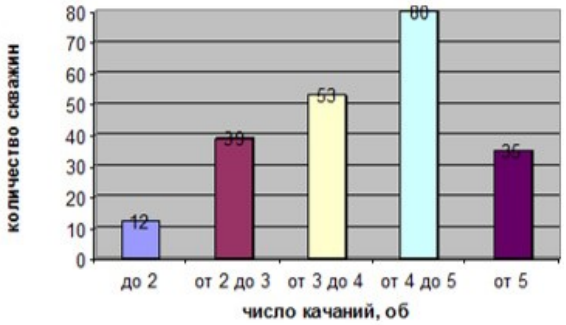

Рисунок 7 – Распределение фонда скважин по числу качаний

Из рисунка 7 видно, что 101 скважина имеет длину хода от 2,0 до 2,5 м, 59 скважин – от 1,5 до 2,0 м и 39 скважин эксплуатируются с длиной хода от 2,0 до 3,0 м. Из рисунка 8 видно, что 80 скважин эксплуатируются с числом качаний от 4 до 5 об./мин., 53 скважины – от 3 до 4 об./мин.

Основной фонд скважин Восточной площади эксплуатируется штанговыми скважинными насосными установками, основным элементом которых является глубинный штанговый плунжерный насос. От надёжности этого узла зависит экономическая эффективность разработки площади, поэтому повышение работоспособности скважинных плунжерных насосов является основной задачей для снижения себестоимости добываемой нефти.

Анализ причин выхода из строя скважин, оборудованных ШСНУ

Проведённый анализ причин низкой эффективности эксплуатации ШСНУ в процессах откачки жидкости с твердыми фракциями, песком и бурового раствора на скважинах Восточной площади, показывает актуальность применения дополнительного оборудования.

К проблемам эксплуатации скважин штанговыми установками, в продукции которых находятся твёрдые осадки, песок и буровой раствор, относят:

- забивание приёмной и нагнетательной ступеней штанговой установки фильтратом бурового раствора в процессе освоения после бурения;
- возникновение повышенных сил трения между плунжером и цилиндром при попадании в зазор песка, вследствие чего – частичное снижение интервала движения плунжера, износ контактирующих поверхностей оборудования и повышенные утечки жидкости;
- оседание всего объёма твёрдых осадков и песка на плунжер насоса во время остановок скважин, что приводит к частичному или полному клину плунжера в цилиндре насоса и прихвату штанг в трубах;
- необходимость использования штанговых протекторов и штанговращателей, которые не гарантируют полную ликвидацию вышеперечисленных проблем;
- повышенное изгибающее напряжение на резьбовые соединения штанговых муфт, вызванное кривизной ствола скважины, что значительно снижает прочность соединительных муфт и приводит к обрыву колонны насосных штанг.

В таблице 4 приведено количество подземных ремонтов скважин по причине отказов ШСНУ.

Таблица 4 – Количество подземных ремонтов скважин по причине отказов ШСНУ

№ n/n	Причины выхода из строя ШСНУ	Количество
1	Забита система клапанов ШСН	6
2	Заклинивание плунжера ШСН	23
3	Засорение клапанов	3
4	Износ оборудования	23
5	Коррозионное отверстие в НКТ	5
6	Наличие водонефтяной эмульсии	13
7	Наличие вязкой нефти	1
8	Негерметичность НКТ	27
9	Негерметичность клапанов	45
10	Негерметичность эксплуатационной колонны	1
11	Обрыв НКТ	4
12	Обрыв штанг	114
13	Отворот НКТ	1
14	Отворот штанг	38
15	Отложение АСПО	35
16	Отсутствие подачи	3
17	Прочие отложения на приёме насоса	13
18	Срыв насоса из замковой опоры	6
19	Трещина в теле НКТ	6
20	Прочие причины	10
Всего		**377**

Из таблицы 4 видно, что основными причинами отказов работы ШСНУ являются обрыв штанг – 114 ремонтов за 2021-2025 гг., негерметичность клапанов – 45 ремонтов, отворот штанг – 38 ремонт, отложения АСПО – 35 ремонтов.

1. *Обрыв штанг* – разрушение колонны штанг происходит либо при разрыве тела штанги, либо при разрушении резьбовых соединений.

Обрывы штанг происходят вследствие усталости металла, в результате переменных нагрузок, концентраций напряжений, коррозионности среды. Усталостное разрушение штанг обычно начинается с поверхности образованием микротрещины. Поверхность излома имеет характерный вид: она состоит из двух зон – мелкозернистой и крупнозернистой. Усталостное разрушение штанг ускоряется переменными нагрузками, концентрацией напряжений и воздействием коррозионной среды, поэтому выбор допускаемых напряжений для штанг представляет собой важную задачу.

На возникновение обрывов штанг влияют отложения АСПО на стенках НКТ, неправильная подгонка подвески.

2. *Утечки в НКТ* – пропуски по телу труб, по резьбовым соединениям.

Возникают при коррозионном разрушении стенок НКТ, некачественном заворачивании труб при ремонте скважин.

На возникновение утечек на стенках НКТ влияют воздействие коррозионных сред, повышенное напряжение в резьбовых соединениях из-за нарушения их геометрических параметров.

3. *Засорение и заклинивание плунжера* – отложение в цилиндре насоса АСПО, песка, механических примесей и других твёрдых предметов.

Возникает вследствие выпадения из продукции скважин АСПО, высокого проявления песка в скважине и т.д.

4. *Износ плунжера* – увеличение зазора между цилиндром и плунжером.

Возникает вследствие длительного цикла эксплуатации штангового насоса.

Проведённый анализ показывает, что основная доля отказов приходится на насосы и штанги. Очевидно, что для заметного повышения наработки на отказ УШГН в целом именно этим звеньям должно быть уделено особое внимание.

Что касается штанговых колонн, то здесь два основных направления снижения отказов: своевременная замена отработавших установленный ресурс (свыше 26 млн циклов) и использование штанг с прочностными характеристиками, соответствующими фактическим нагрузкам, при которых надёжно работают штанговые колонны. При правильном выборе группы прочности и компоновки колонны наработка на отказ может быть увеличена примерно в 2,0–2,5 раза. Проблема повышения наработки на отказ штанговых насосов сложнее и связана с конструкцией насоса. Опыт работы с серийными насосами показывает, что основными причинами выхода их из строя являются частые отказы уплотнительных узлов – пары «плунжер – цилиндр» и клапанной пары.

Контроль за работой скважин, осложнённых формированием АСПО и эмульсий (примеры динамограмм скважин с осложнёнными условиями эксплуатации)

Работы по диагностированию скважин, оборудованных установками штанговых глубинных насосов, могут быть как плановые (с целью уточнения режима работы), так и внеплановые, в тех случаях, когда наблюдается:

1) существенное снижение производительности работающей установки или её полное отсутствие;

2) значительный разброс замеров дебитов, получаемых в короткий временной промежуток.

Основной задачей диагностирования является оперативное и точное выявление возможных причин неоптимальной работы системы «скважина – глубинно-насосное оборудование». Диагностирование проводится на основе интерпретации результатов комплексного исследования, включающего замер дебита, снятие гидродинамических параметров пласта скважины и рабочих характеристик глубинно-насосного оборудования с обязательным условием согласованности их значений по времени.

Диагностирование как один из видов промысловых исследований включает в себя полевые и камеральные работы:

- полевые работы проводятся специально подготовленными работниками;
- камеральные работы проводятся по результатам полевых исследований, анализа текущей эксплуатации скважины, проведённых ремонтов и других архивных данных инженером-технологом ЦДНГ.

До начала работ на скважине работники, занимающиеся диагностированием, должны знать:

- время и предварительную причину простоя (остановки) скважины;
- последние достоверные данные динамического ($H_{дин}$) и статического ($H_{ст}$) уровней, соответствующее этим значениям давление в затрубном пространстве (Рзатр), линейное давление ($Р_{буф}$), обводнённость, наличие обратного клапана;
- динамику изменения дебита по групповой замерной установке или другому замерному устройству в течение последней недели работы скважины;
- дату и причину проведения последнего ремонта;
- осложняющие факторы (АСПО, водонефтяные эмульсии, соли и т.д.);
- состояние и протяжённость выкидного нефтепровода;
- внутренний диаметр эксплуатационной колонны (наличие «летучки») и наружный – НКТ;
- типоразмеры и глубины спуска глубинно-насосного оборудования (НКТ, штанги, глубинный насос и др.);
- тип и рабочие параметры привода УШГН (число качаний и длина хода полированного штока).

Данные представляются инженером-технологом.

Ниже приведён порядок проведения работ по диагностированию скважины. Последовательность выполнения полевых работ приведена на рисунке 8.

Полевые работы делятся на две основные части:

1) проверку состояния схемы обвязки и средств контроля за работой скважины;

2) проверку исправности глубинно-насосного и верхнего оборудования и соответствие параметров их работоспособности добывным возможностям пласта.

Первый этап

Перед запуском установки группа по диагностированию обязана убедиться в отсутствии повреждений и исправности оборудования – групповой замерной установки или другого замерного устройства, станции управления, наземной части кабеля, запорной арматуры, манометров, пробоотборника, аппаратно-программного комплекса диагностики скважин, средств индивидуальной защиты.

Определить тип станка-качалки и номер технологического отверстия кривошипа (нумерация отверстий ведётся от вала редуктора) для установления истинной длины хода полированного штока.

В случае комбинированной конструкции станка-качалки длина хода полированного штока определяется следующим образом. В нижнем положении головки балансира мелом нанести метку на полированный шток на уровне крышки верхнего сальника СУСГ. Остановить станок-качалку в верхнем положении головки балансира. Мелом нанести метку на полированный шток на уровне крышки верхнего сальника СУСГ. Замерить с помощью рулетки длину полированного штока между двумя метками. При большой длине хода полированного штока (свыше 2,5 м) необходимо на полированный шток наносить три метки – верхняя, промежуточная и нижняя, а замер длины полированного штока производить интервалами.

Второй этап

Перед запуском установки необходимо замерить статический уровень. В случае невозможности её запуска работы на скважине прекращаются, а информация передаётся диспетчеру ЦДНГ. Если после запуска наблюдается значительное увеличение линейного давления при открытой линейной задвижке, то это указывает на неисправность нефтепровода или его обвязки (замерзание, запарафинивание, закрыта задвижка на групповой замерной установке, неисправность запорной арматуры и т.д.). Дальнейшие исследования проводятся после устранения неисправности.

После запуска установки необходимо с помощью эхолота контролировать снижение динамического уровня, следить за состоянием сальникового уплотнения и одно-

временно за величиной $P_{лин}$. Отбивку уровней производить в зависимости от темпа откачки с интервалом не реже, чем через 10 мин.

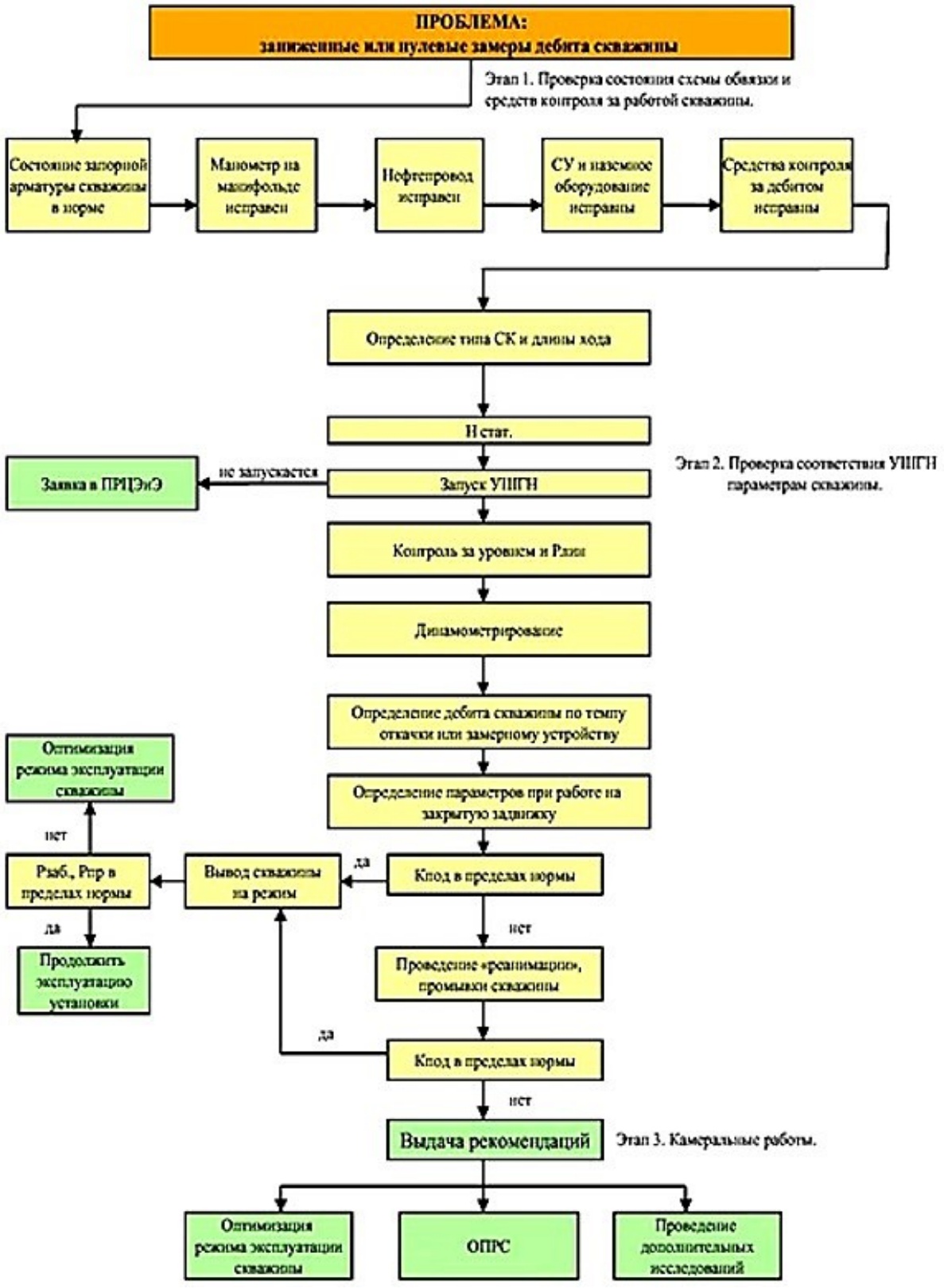

Рисунок 8 – Последовательность выполнения полевых работ

Произвести снятие динамограммы и при возможности выполнить тестирование клапанов глубинного насоса (для определения величины утечек). Процесс регистрации

необходимо производить не менее двух-трёх раз через некоторый временной интервал между отбивками $H_{дин}$ до получения двух идентичных по форме динамограмм.

Дальнейшая проверка степени работоспособности установки определяется после вызова подачи путём прослеживания изменения давления на линии ($P_{лин}$) при работе насоса на закрытую задвижку на давление, превышающее рабочее давление в выкидном трубопроводе на 15÷20 атм. (но не свыше 40 атм.):

$$P_{опр} = P_{лин} + 15 \div 20,$$

где $P_{опр}$ – давление опрессовки, атм.; $P_{лин}$ – давление в линии, атм.

Если падение $P_{лин}$ обусловлено негерметичностью запорных задвижек (затрубной или линейной), то перед проведением работ по опрессовке проводится проверка их исправности путём стравливания $P_{лин}$ до атмосферного через пробоотборный кран. В случае «пропуска задвижек» дальнейшие исследования проводятся без учёта результатов опрессовки.

Контроль за темпом роста давления осуществляется одним оператором группы диагностирования по секундомеру (часам). Второй работник в это время должен находиться около станции управления для одновременной записи и отключения установки. После отключения установки, не открывая линейной задвижки, продолжить наблюдение за темпом падения $P_{лин}$ в течение 5–10 мин.

По результатам опрессовки определяется темп увеличения давления $T_{ув}$ и темп падения давления $T_{пад}$, а также коэффициент герметичности, характеризующий величину утечек в глубинно-насосном оборудовании, по формуле:

$$K_{герм} = \frac{T_{ув}}{T_{ув} + T_{пад}},$$

где $K_{герм}$ – коэффициент герметичности, характеризующий величину утечек в глубинно-насосном оборудовании; $T_{ув}$ и $T_{пад}$ – величины темпа увеличения и падения давлений, атм./мин., которые определяются по формулам:

$$T_{ув} = \frac{\Delta P_{ув}}{\Delta t_{ув}};\ T_{пад} = \frac{\Delta P_{пад}}{\Delta t_{пад}},$$

где $\Delta P_{ув}$ – разница между величиной $P_{опр}$ и $P_{лин}$ при работе станка-качалки, атм.; $\Delta P_{пад}$ – разница между величиной $P_{опр}$ и $P_{лин}$ при остановленном станке-качалки, атм.; $t_{ув}$ и $t_{пад}$ – время замера темпа увеличения и падения давлений, мин.

Для вышеприведённого случая имеем:

$$T_{ув} = \frac{25 - 10}{10} = 1{,}5 \text{ атм./мин.};$$

$$T_{пад} = \frac{25 - 20}{5} = 1{,}0 \text{ атм./мин.};$$

$$K_{герм} = \frac{1{,}5}{1{,}5 + 1{,}0} = 0{,}6.$$

Значение коэффициента герметичности $K_{герм}$ характеризует общую величину утечек в глубинно-насосном оборудовании (в НКТ и насосе), поэтому его необходимо учитывать при определении дебита по динамограмме.

Необходимо отметить, что точность замера зависит от продолжительности проведения опрессовки (чем больше время замера, тем точнее результат).

Основным параметром для диагностирования скважин является дебит, который определяется по замерному устройству (стационарному, передвижному) или расчётными методами – по динамограмме, а также по темпу откачки и восстановления уровня.

Значения площади кольцевого затрубного пространства скважины в зависимости от диаметра НКТ и эксплуатационной колонны приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Площадь кольцевого затрубного пространства скважины

Условный диаметр эксплуатационной колонны, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр, м	Площадь кольцевого затрубного пространства в зависимости от диаметра НКТ (в мм), м^2		
			60	73	89
114	6,4	0,1012	0,0052	0,0039	0,0019
	7,4	0,0992	0,0049	0,0036	0,0016
	8,6	0,0968	0,0045	0,0032	0,0012
	10,2	0,0936	0,0041	0,0027	0,0007
146	6,5	0,1330	0,0111	0,0097	0,0077
	7,0	0,1320	0,0108	0,0095	0,0075
	7,7	0,1306	0,0106	0,0092	0,0072
	8,5	0,1290	0,0102	0,0089	0,0069
168	7,3	0,1534	0,0157	0,0144	0,0123
	8,0	0,1520	0,0154	0,0120	0,0120
	8,9	0,1502	0,0149	0,0136	0,0116
	10,6	0,1468	0,0100	0,0128	0,0108

Диаметр НКТ – 73 мм (2,5″), эксплуатационной колонны – 146 мм (5″), толщина стенки – 7 мм. За 30 мин. после запуска установки уровень в «затрубье» понизился на 15 м при постоянном $P_{затр}$.

Расчётный дебит по темпу откачки составит:

$$Q_{расч} = \frac{24 \cdot 0{,}0095 \cdot 15}{0{,}5} = 6{,}84 \text{ м}^3\text{/сут.}$$

Данный метод является приближённым, т.к. не учитывает ряд факторов (приток жидкости из пласта, наличие отложений на внутренней части эксплуатационной колонны и т.д.), и поэтому может быть использован только для предварительных расчётов.

При необходимости по темпу откачки можно рассчитать время отбивки контрольного динамического уровня.

После выполнения комплекса работ по диагностике оператор технологической группы принимает решение об остановке или продолжении эксплуатации скважины.

Скважина оставляется в работе в случаях, если дальнейшая эксплуатация установки не приведёт к «срыву подачи» из-за снижения $H_{дин}$ до приёма насоса, а также осложнениям или авариям, в т.ч. из-за износа сальникового уплотнения (перегрев).

При отсутствии опрессовки на закрытую задвижку, а также при значительном темпе падения давления (на 3 и более атмосферы в минуту) скважина останавливается. В этом случае для возможности повторного исследования статического уровня закрывается задвижка (центральная или линейная). В условленном месте (арматура, станция управления) для оператора-обходчика оставляется записка с указанием причины и даты остановки скважины. Вся информация передаётся диспетчеру нефтепромысла.

В процессе выполнения полевых работ вся информация записывается в рабочий журнал оператора.

Решение о дальнейшем исследовании, «реанимировании» скважины или проведении подземного ремонта скважины принимается инженером-технологом по результатам интерпретации проведённых исследований и расчёта дебита по динамограмме.

Заключение о работе установки должно архивироваться в используемых программных комплексах (блок «Исследования технологической группы»).

Для установок ШГН с высокой посадкой плунжера характерно наличие резкого броска нагрузки в большую сторону в правом верхнем углу динамограммы (рис. 9).

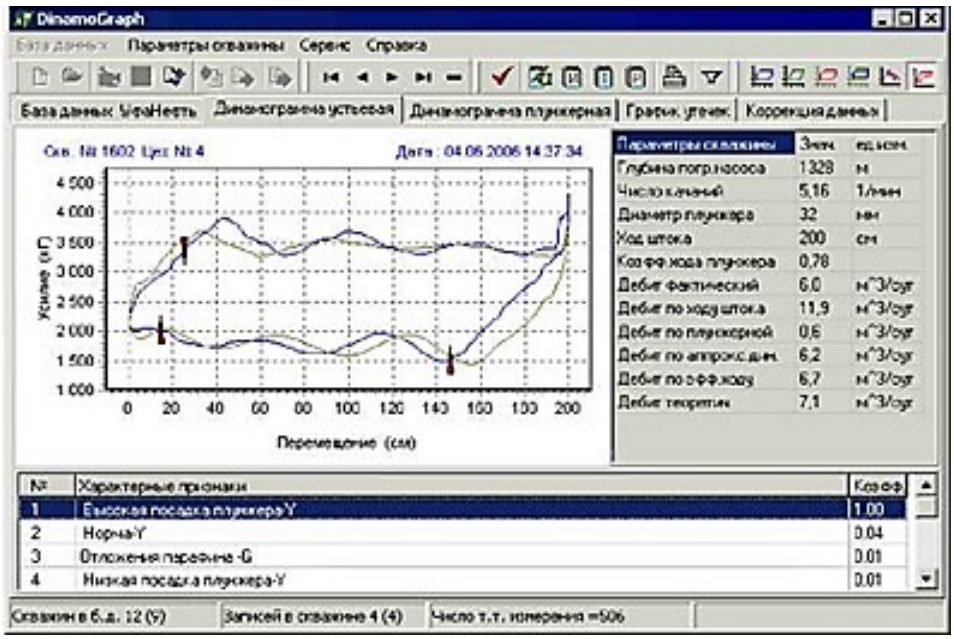

Рисунок 9 – Динамограмма скважины № 1602
(высокая посадка плунжера)

При низкой посадке плунжера (рис. 10) в левом нижнем углу динамограммы возникает резкий выброс нагрузки вниз. При ударах плунжера при ходе вниз в зависимости от скорости посадки плунжера на преграду её жёсткости и расстояния от преграды до истинного крайнего положения, снижение нагрузки и последующий набор этой нагрузки на динамограмме записываются несколько по-разному.

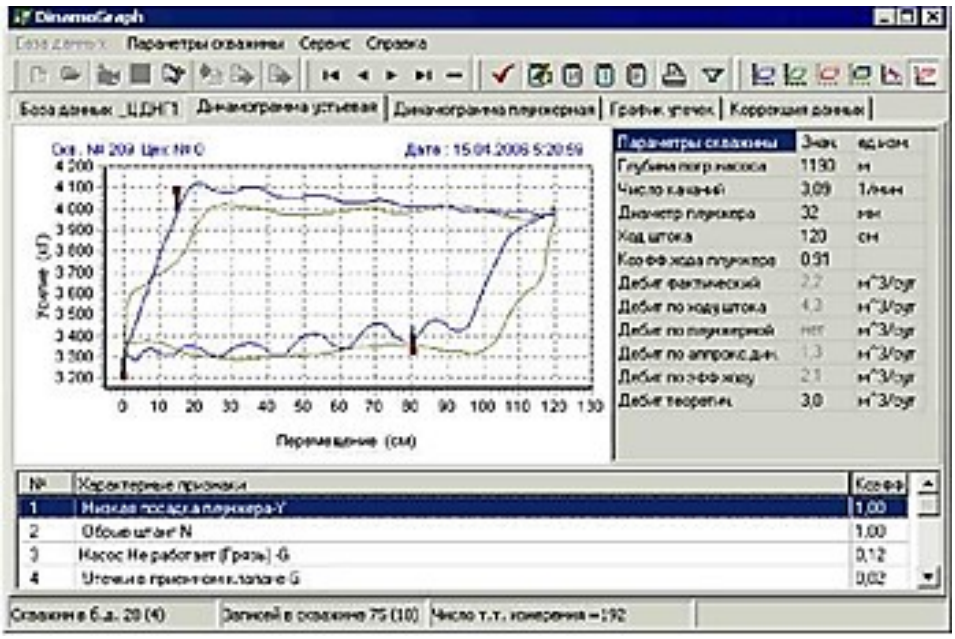

Рисунок 10 – Динамограмма скважины № 209
(низкая посадка плунжера)

Если удар не резкий и нагрузка снижается плавно, то имеет место заедание плунжера в конце хода, что приводит к появлению в левом нижнем углу динамограммы характерной петли (рис. 11). Линия восприятия нагрузки отодвигается вправо от своего нормального положения. При резких снятиях нагрузки петля может иметь несколько перехлёстов. Петля удара всегда располагается ниже линии статического веса

штанг. При ударах плунжера полезная длина его хода уменьшается на длину горизонтальной проекции петли.

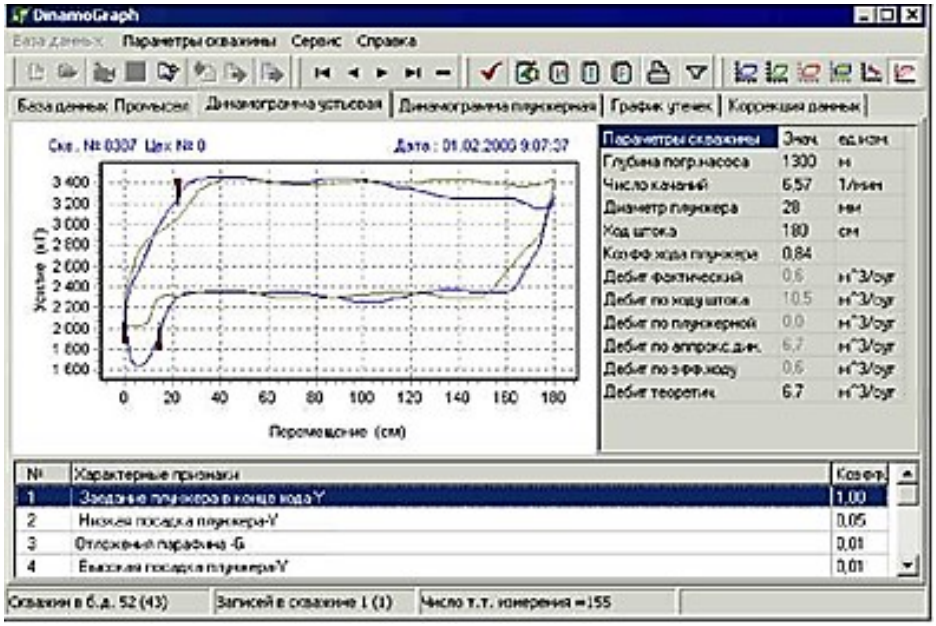

Рисунок 11 – Динамограмма скважины № 8387
(заедание плунжера в конце хода)

На рисунке 12 изображён так называемый «пистолет», соответствующий откачке жидкости с пластовым газом. Для «пистолета» характерно, что линия снятия нагрузки представляет собой кривую с некоторой кривизной, выпуклость которой обращена вверх и влево; процесс снятия нагрузки протекает медленно, и открытие нагнетательного клапана происходит позже, чем при нормальной работе насоса; левый нижний и правый верхний углы динамограммы острые; в случае значительного содержания газа в смеси процесс восприятия изображается линией, несколько отклоняющейся вправо от теоретической; линии снятия и восприятия нагрузки параллельны.

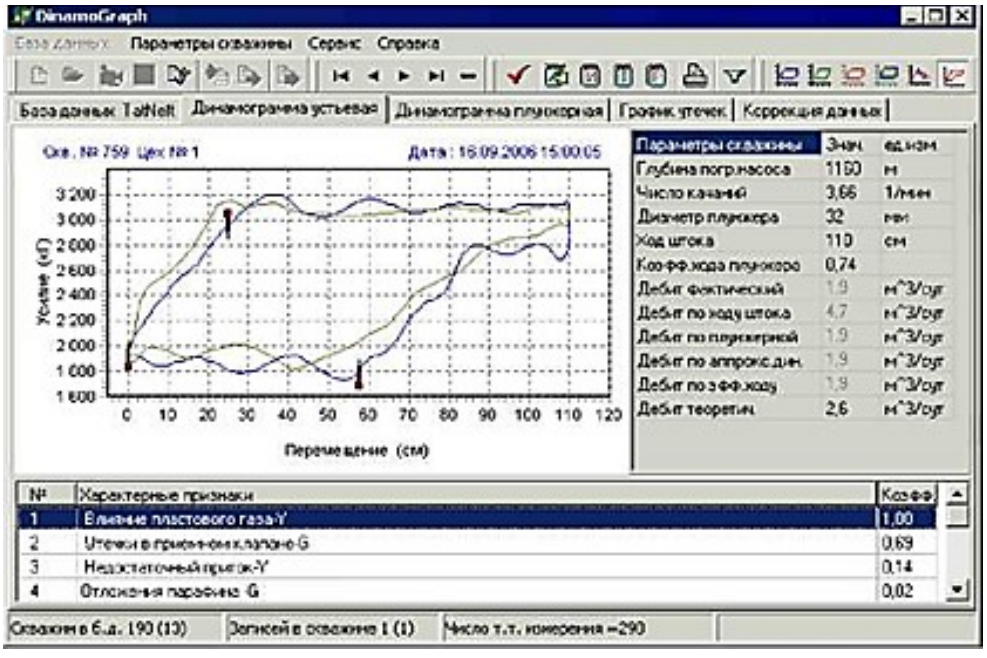

Рисунок 12 – Динамограмма скважины № 759
(влияние пластового газа)

При более сильном влиянии газа наблюдается периодический срыв подачи, что можно увидеть на динамограмме скважины № 8379 (рис. 13). В этом случае эффективный ход плунжера практически отсутствует или несоизмеримо мал по сравнению с длиной хода штока, что значительно уменьшает количество добываемой жидкости.

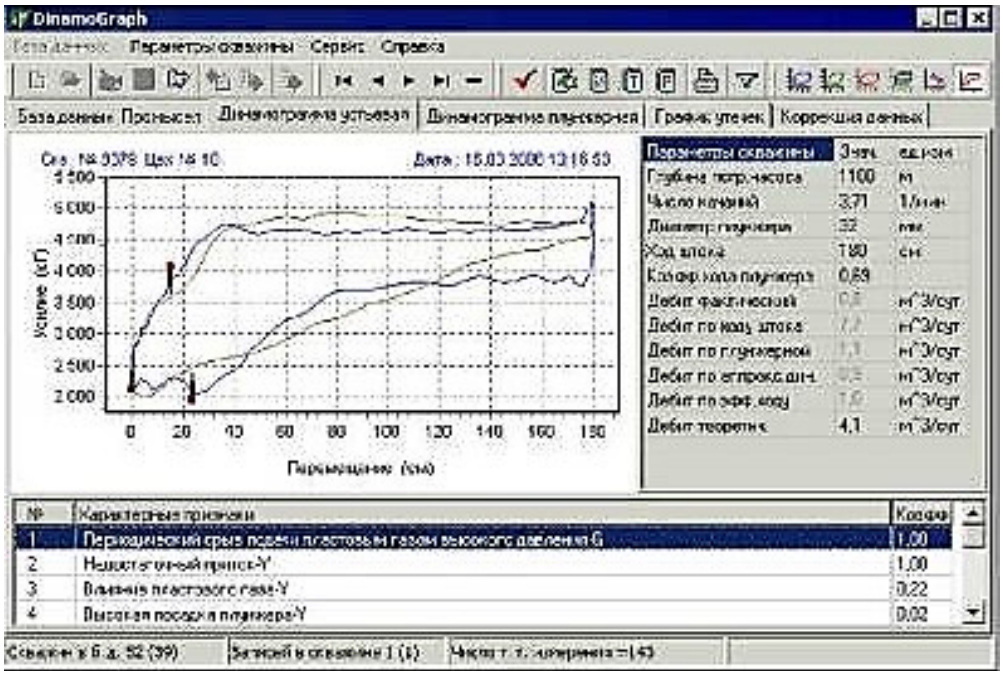

Рисунок 13 – Динамограмма скважины № 8379
(периодический срыв подачи пластовым газом высокого давления)

При утечках жидкости в нагнетательной части насоса динамограмма приобретает характерные признаки: процесс восприятия нагрузки изображается линией, имеющей меньший угол наклона к горизонтали, чем линия восприятия нагрузки при нормальной работе насоса; правый верхний угол закруглён; линия снятия нагрузки идёт более круто, и угол, образуемый ею и нулевой линией, имеет больший наклон (рис. 14).

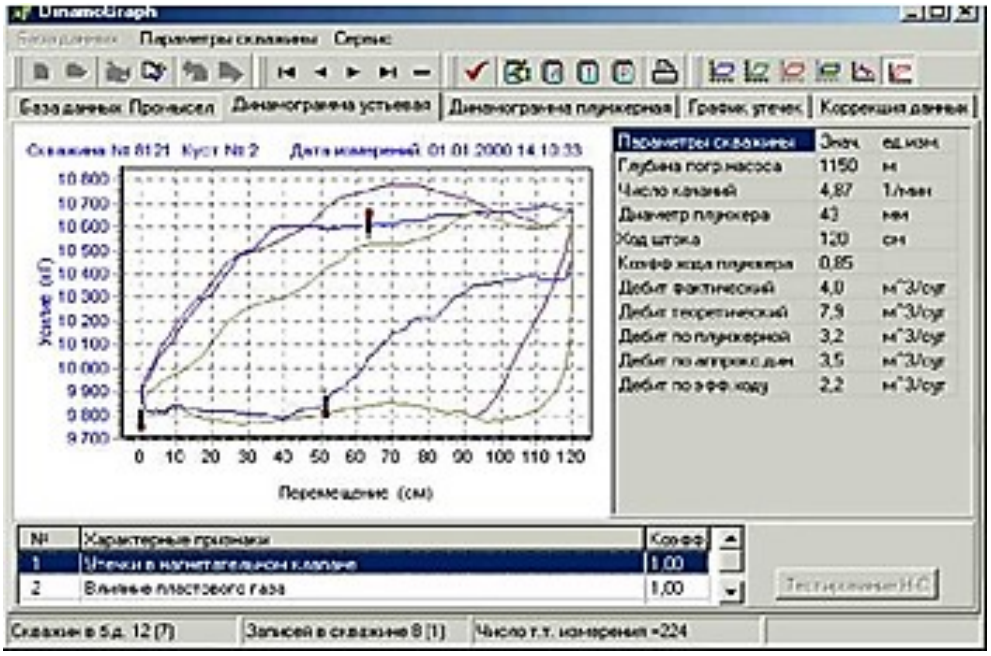

Рисунок 14 – Динамограмма скважины № 8121
(утечки в нагнетательном клапане и влияние пластового газа)

На Восточной площади нередко встречаются скважины с большим количеством парафина, динамограммы которых имеют «яйцеобразную» форму (рис. 15).

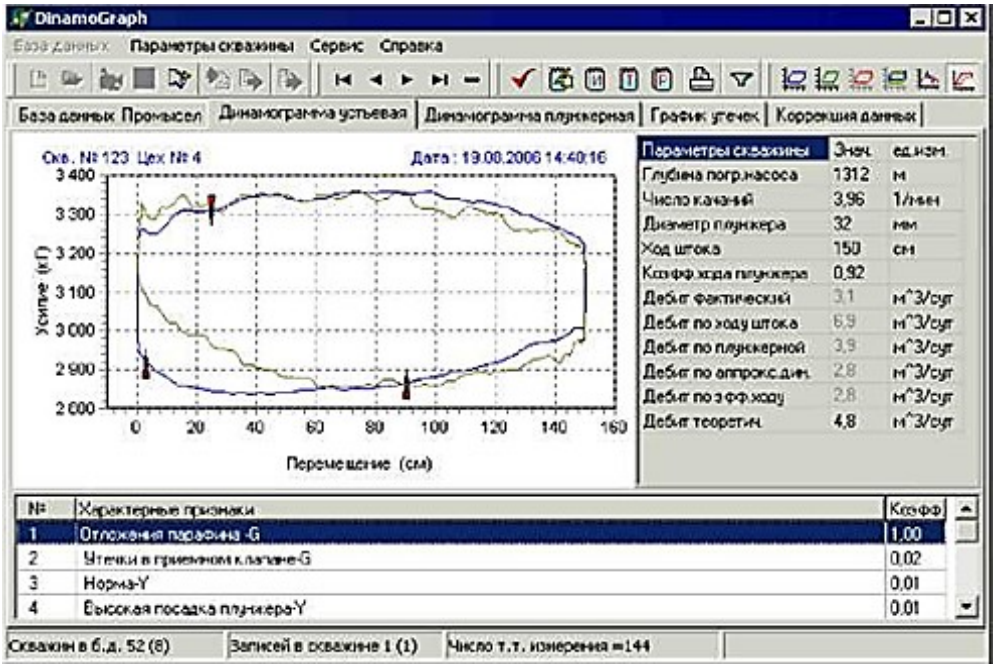

Рисунок 15 – Динамограмма скважины № 123
(отложения парафина)

Перспективные направления совершенствования эксплуатации скважин в осложнённых условиях

Ниже приведены рекомендации технологическим службам НГДУ при работе с осложнённым АСПО фондом:

1. При разработке ежегодных мероприятий по борьбе с АСПО в скважинном оборудовании предусматривать меры по предотвращению формирования АСПО на приёме насоса, эксплуатационной колонне и в призабойной зоне скважин.

2. При вводе новых скважин из бурения или длительного бездействия (девон), а также очередном выходе скважин осложнённого фонда с УШГН в ремонт предусматривать внедрение штанг со скребками-центраторами до насоса.

3. Организовать контроль за состоянием скребков-центраторов, не допускать применение штанг с изношенными (диаметром менее 54 мм) или незакреплёнными скребками-центраторами.

4. Внедрение на скважинах вставных насосов с типоразмером 150-RHAM (Н-38) и 175-RHAM (Н-44), а также трубных насосов с диаметром плунжера 57 мм и более осуществлять на штангах с увеличенным диаметром скребков-центраторов (диаметром не менее 58 мм).

5. Проводить расследование всех случаев запарафинивания подземного оборудования независимо от отработанного времени скважины с выявлением причины отказа (техническая, технологическая или организационная). В актах расследований предусмотреть обязательное внесение информации по осложнениям, связанным с подъёмом глубинно-насосного оборудования (наличие циркуляции, нагрузка на талевый блок по МС-130, продолжительность подъёма, качественный состав АСПВ, профиль отложений, состояние скребков на штангах и т.д.).

6. Своевременно вносить в акты на сдачу скважины из подземного ремонта достоверную информацию по типу скребков-центраторов, глубине их спуска и интервалу отложения АСПО независимо от причины ремонта скважины.

7. Не допускать эксплуатацию скважин осложнённого фонда с недостаточной для эффективного удаления АСПО длиной хода полированного штока.

8. Организовать контроль за исправной работой штанговращателей.

9. С целью повышения эффективности нефтедистиллятных промывок использовать теплообменные аппараты для проведения тепловых обработок скважин.

Выводы и рекомендации по дальнейшей эксплуатации скважин

1. Изучение фонда скважин Восточной площади показало, что из 383 скважин 219 эксплуатируются штанговыми глубинными насосами.

2. Проведён анализ основных факторов выхода из строя штанговых насосных установок скважин Восточной площади. На 35 % фонда ШГН причинами отказов являются засорение или заклинивание плунжера, 19 % обрыв муфт и штанг, 18 % износ плунжера, а остальное – отказ устьевого оборудования и утечки в НКТ.

3. Увеличение производительности ШСНУ может быть достигнуто с помощью насосов с правильной подгонкой длины хода, числа качаний, подбор колонны штанг, диаметра насоса.

4. Разработать мероприятия по выбору оптимального варианта технологических рабочих параметров скважин (глубины подвески насоса, его диаметра, диаметра штанговой колонны, длины хода точки её подвеса, а также числа качаний балансира станка-качалки), при которых подача установки, оборудованной двухплунжерными насосами, будет наибольшей.

5. Изучить эффективность применения дополнительного оборудования при эксплуатации ШСНУ на фонде скважин Восточной площади.

Заключение

При работе штанговых насосных установок на скважинах Восточной площади часто встречаются условия, осложняющие работу этих установок. К ним следует отнести: эмульсию; большое содержание песка в откачиваемой жидкости; отложение парафина в НКТ и на насосных штангах и минеральных солей в узлах насоса и в НКТ, сильное искривление скважин; высокопарафинистые высоковязкие нефти.

Мероприятия по борьбе с осложнениями на фонде скважин Восточной площади (отложениями солей, АСПО и эмульсеобразованием) с каждым годом становятся всё более дорогостоящими ввиду роста цен на химические реагенты. Применение дополнительного оборудования позволяет значительно снизить расход химических реагентов, а в некоторых случаях – и полностью отказаться от химической обработки.

Поздняя стадия разработки, на которой находится в настоящее время большинство нефтяных и газовых месторождений, в силу ряда причин способствует росту доли осложнений, связанных с эмульсеобразованием, АСПО и отложениями неорганических солей, имеющих место по всей технологической цепочке добычи, транспорта и подготовки нефти и газа.

Литература

1. Оценка эффективности применения насосных установок различных конструкций для добычи нефти / Е.В. Безводицкий [и др.] // Наука как ключевой фактор развития современного общества: материалы I Международной научно-практической конференции (29 марта 2024 года, г. Краснодар). – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 83–90.
2. Диагностика состояния ШГН по динамограмме методом прецедентов / Е.Н. Даценко [и др.] // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2. – С. 85–87.
3. Молчанова В.А. Физическая модель штанговой насосной установки / В.А. Молчанова, П.М. Тугунов, В.А. Лежнин // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 324–327.
4. 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.
5. Устройство для увеличения межремонтного периода работы штангового насоса / О.В. Савенок [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2023. – № 7(655). – С. 64–66. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-7(655)-64-66
6. Шаблий И.И. Анализ проблем эксплуатации малодебитных скважин, оборудованных ШСНУ, в условиях Дарьинского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 280–304.
7. Шаблий И.И. Оборудование и эксплуатация УШГН на примере Таймурзинского нефтяного месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 242–257.

8. Шаблий И.И. Анализ работы штанговых скважинных насосных установок на примере нефтяного месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 251–264.
9. Технико-технологические решения, направленные на повышение ресурса работы штанговых насосных установок / И.И. Шаблий [и др.] // Наука как ключевой фактор развития современного общества: материалы I Международной научно-практической конференции (29 марта 2024 года, г. Краснодар). – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 575–583.
10. Шаблий И.И. Повышение эффективности эксплуатации скважин, оборудованных штанговыми глубинными насосными установками, в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 395–416.
11. Анализ борьбы с осложнениями при работе скважин, оборудованных УСШН, на Сасимовском месторождении / И.А. Шауро [и др.] // Referatotech: материалы III Международной научно-практической конференции (15 ноября 2022 года, г. Краснодар). – Краснодар : Издательство «Новация», 2022. – С. 579–582.
12. Шиян С.И. Анализ причин обрывности штанговой колонны при эксплуатации скважин, оборудованных ШСНУ, на Букаревском нефтяном месторождении / С.И. Шиян, Д.В. Шутов, И.И. Шаблий // Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. (04–05 декабря 2020 года, г. Армавир). – Армавир : ООО «Редакция газеты «Армавирский собеседник», 2021. – С. 157–170.
13. Шиян С.И. Направления совершенствования эксплуатации скважин, оборудованных ШСНУ, и мероприятия по увеличению межремонтного периода скважин на Букаревском нефтяном месторождении / С.И. Шиян, И.И. Шаблий, Д.В. Шутов // Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы советского народа в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. (04–05 декабря 2020 года, г. Армавир). – Армавир : ООО «Редакция газеты «Армавирский собеседник», 2021. – С. 171–177.
14. Перспективы применения методов повышения нефтеотдачи пластов на Полярном нефтяном месторождении на основе анализа эффективности применяемых методов на месторождениях-аналогах / С.И. Шиян [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 3(639). – С. 9–18. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-9-18
15. Шиян С.И. Устройство поддержания расчётного перепада давления в межтрубном пространстве путём перепуска затрубного газа в выкидной трубопровод / С.И. Шиян, И.И. Шаблий // Нефтепромысловое дело. – 2023. – № 3(651). – С. 56–58. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-3(651)-56-58
16. Шиян С.И. Повышение надёжности работы всасывающего клапана штангового насоса / С.И. Шиян, И.И. Шаблий // Нефтепромысловое дело. – 2023. – № 8(656). – С. 41–44. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-8(656)-41-44
17. Повышение эффективности эксплуатации нефтяных скважин путём разработки комплекса технических устройств / С.И. Шиян [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 10(370). – С. 59–68. DOI: 10.33285/0130-3872-2023-10(370)-59-68
18. Шиян С.И. Поддержание рентабельной выработки запасов нефти и экономическое обоснование использования технологии одновременно-раздельной эксплуатации на нефтяном месторождении Новотроицкого поднятия Республики Татарстан / С.И. Шиян, И.И. Шаблий // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 7(379). – С. 34–39.

References

1. Evaluation of the Efficiency of Using Various Types of Pumping Units for Oil Extraction / E.V. Bezvoditskiy [et al.] // Science as a Key Factor in the Development of Modern Society: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference (March 29, 2024, Krasnodar). – Krasnodar : I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, 2024. – P. 83–90.
2. Diagnostics of Sucker-Rod Pumping Unit Conditions Based on Dynamometer Cards Using a Case-Based Reasoning Method / E.N. Datsenko [et al.] // Bulatov Readings. – 2019. – Vol. 2. – P. 85–87.
3. Molchanova V.A. Physical Model of a Sucker-Rod Pumping Unit / V.A. Molchanova, P.M. Tugunov, V.A. Lezhnin // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 2. – P. 324–327.

4. Savenok O.V. Analysis of the causes for declining oil recovery at the Zapadno-Khosedayu field and recommendations for the implementation of geological and technical interventions / O.V. Savenok, E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Bulatov Readings. – 2022. – Vol. 1. – P. 290–298.
5. A device for extending the run life (time between overhauls) of a sucker-rod pump / O.V. Savenok [et al.] // Oilfield Engineering. – 2023. – № 7(655). – P. 64–66. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-7(655)-64-66
6. Shabliy I.I. Analysis of operational challenges for low-yield wells equipped with sucker-rod pump units (SRPUs) at the Daryinskoye oil field // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 2. – P. 280–304.
7. Shabliy I.I. Equipment and Operation of Sucker-Rod Pumping Units: A Case Study of the Taymurzinskoye Oil Field // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 3. – P. 242–257.
8. Shabliy I.I. Analysis of Sucker-Rod Pumping Unit Performance: A Case Study of an Oil Field in the West Siberian Petroleum Province // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 251–264.
9. Technical and Technological Solutions Aimed at Extending the Service Life of Sucker-Rod Pumping Units / I.I. Shabliy [et al.] // Science as a Key Factor in the Development of Modern Society: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference (March 29, 2024, Krasnodar). – Krasnodar : I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, 2024. – P. 575–583.
10. Shabliy I.I. Improving the Operational Efficiency of Wells Equipped with Sucker-Rod Pumping Units under Challenging Conditions // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 395–416.
11. Analysis of Mitigation Strategies for Operational Challenges in Wells Equipped with Sucker-Rod Pumping Units at the Sasimovskoye Field / I.A. Shauro [et al.] // Referatotech: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (November 15, 2022, Krasnodar). – Krasnodar : Novatsiya Publishing House, 2022. – P. 579–582.
12. Shiyan S.I. Analysis of the causes of sucker-rod string failures during the operation of wells equipped with sucker-rod pumping units (SRPUs) at the Bukarevskoye oil field / S.I. Shiyan, D.V. Shutov, I.I. Shabliy // The Scientific Potential of Higher Education for Industry and Education: A collection of articles based on the proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 75th anniversary of the Soviet people's victory in the Great Patriotic War of 1941–1945 (December 4–5, 2020, Armavir). – Armavir : Redaktsiya gazety «Armavirskiy Sobesednik» LLC, 2021. – P. 157–170.
13. Shiyan S.I. Directions for Improving the Operation of Wells Equipped with Sucker-Rod Pumping Units (SRPUs) and Measures to Extend the Inter-Repair Period of Wells at the Bukarevskoye Oil Field / S.I. Shiyan, I.I. Shabliy, D.V. Shutov // The Scientific Potential of Higher Education for Industry and Education: A Collection of Articles Based on the Materials of the III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 75th Anniversary of the Soviet People’s Victory in the Great Patriotic War of 1941–1945 (December 4–5, 2020, Armavir). – Armavir : Redaktsiya gazety «Armavirskiy Sobesednik» LLC, 2021. – P. 171–177.
14. Prospects for Applying Enhanced Oil Recovery Methods at the Polyarnoye Oil Field: An Analysis of the Effectiveness of Methods Used at Analogous Fields / S.I. Shiyan [et al.] // Oilfield Engineering. – 2022. – № 3(639). – P. 9–18. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-9-18
15. Shiyan S.I. A Device for Maintaining a Calculated Pressure Differential in the Annulus by Diverting Annular Gas into the Flowline / S.I. Shiyan, I.I. Shabliy // Oilfield Engineering. – 2023. – № 3(651). – P. 56–58. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-3(651)-56-58
16. Shiyan S.I. Improving the Operational Reliability of a Sucker-Rod Pump Suction Valve / S.I. Shiyan, I.I. Shabliy // Oilfield Engineering. – 2023. – № 8(656). – P. 41–44. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-8(656)-41-44
17. Increasing the Efficiency of Oil Well Operation through the Development of a Set of Technical Devices / S.I. Shiyan [et al.] // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2023. – № 10(370). – P. 59–68. DOI: 10.33285/0130-3872-2023-10(370)-59-68
18. Shiyan S.I. Maintaining Profitable Oil Production and Economic Justification for the Use of Simultaneous-Separate Production Technology at an Oil Field in the Novotroitskoye Uplift, Republic of Tatarstan / S.I. Shiyan, I.I. Shabliy // Construction of Oil and Gas Wells Onshore and Offshore. – 2024. – № 7(379). – P. 34–39.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

•••••••

PEDAGOGICAL SCIENCES

УДК 616.14

РОЛЬ МЕТОДОВ ЛЕЧЕБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ПРИ ПОСТТРОМБОФЛЕБИТИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С СОПУТСТВУЮЩИМ АРТРОЗО-АРТРИТОМ КОЛЕННОГО СУСТАВА

♦♦♦♦♦

THE ROLE OF THERAPEUTIC PHYSICAL CULTURE METHODS IN POSTTHROMBOPHLEBITIC DISEASE OF THE LOWER EXTREMITIES WITH CONCOMITANT KNEE OSTEOARTHRITIS-ARTHRITIS

Долгушина Ксения Анатольевна
студентка группы 25-КБ-ПИ2,
факультет информационных технологий
и кибербезопасности,
Кубанский государственный технологический университет
kirieshka0613@mail.ru

Питкин Виктор Александрович
старший преподаватель
кафедры физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена роль лечебной физической культуры (ЛФК) в комплексной реабилитации пациентов с посттромбофлебитической болезнью нижних конечностей (отечно-болевая форма, стадия реканализации) и сопутствующим посттравматическим артрозо-артритом коленного сустава. Показано, что регулярные занятия ЛФК улучшают венозный отток, уменьшают отек и боль, предупреждают трофические нарушения и сохраняют подвижность сустава.

Ключевые слова: посттромбофлебитическая болезнь, реканализация, отечно-болевой синдром, артрозо-артрит, лечебная физическая культура, кинезиотерапия.

Dolgushina Kseniya Anatolevna
Student of group 25-KB-AI2,
Faculty of Information Technology
and Cybersecurity,
Kuban State Technological University
kirieshka0613@mail.ru

Pitkin Victor Alexandrovich
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

Annotation. The article examines the role of therapeutic physical culture (TPC) in the comprehensive rehabilitation of patients with postthrombophlebitic disease of the lower extremities (edematous-painful form, recanalization stage) and concomitant post-traumatic osteoarthritis-arthritis of the knee joint. It is shown that regular TPC sessions improve venous outflow, reduce edema and pain, prevent trophic disorders, and preserve joint mobility.

Keywords: postthrombophlebitic disease, recanalization, edematous-painful syndrome, osteoarthritis-arthritis, therapeutic physical culture, kinesiotherapy.

Введение

Посттромбофлебитическая болезнь (ПТФБ) остаётся одной из ключевых причин хронической венозной недостаточности нижних конечностей, ограничивающей активность пациентов. Тяжёлые формы развиваются после тромбоза глубоких вен подколенной и бедренной локализации. Стадия реканализации, несмотря на частичное восстановление просвета сосуда, сопровождается клапанной несостоятельностью, рефлюксом и прогрессирующим отечно-болевым синдромом.

Дополнительным отягощающим фактором выступает сопутствующий посттравматический артрозо-артрит коленного сустава, который ограничивает подвижность, усиливает боль и снижает насосную функцию мышц нижней конечности. В таких условиях методы лечебной физической культуры приобретают особое значение, так как позволяют одновременно воздействовать на венозную гемодинамику и биомеханику сустава без медикаментозной нагрузки [4].

Основные клинические проявления сочетанной патологии.

При посттромбофлебитической болезни нижних конечностей выделяют несколько типичных форм:

Отечно-болевая форма (наиболее частая) – сопровождается чувством распирания, тупыми болями, пастозностью или стойким отеком голени и стопы, усиливающимися в конце дня.

Варикозная форма – формируются вторичные варикозно расширенные подкожные вены.

Трофическая форма – характеризуется гиперпигментацией, индурацией кожи, риском венозных язв.

Стадия реканализации – морфологически означает частичное восстановление проходимости, однако функционально сохраняется грубая клапанная недостаточность.

Посттравматический артрозо-артрит коленного сустава (М17.3) развивается после повреждения внутрисуставных структур (мениски, связки, суставной хрящ) и проявляется болями при движении, ограничением сгибания-разгибания, периодическими синовитами. Сочетание ПТФБ и артрозо-артрита формирует порочный круг: венозный застой поддерживает отек сустава, а артрогенная контрактура ухудшает мышечный насос голени [2, 3].

Ключевые задачи применения ЛФК при данной сочетанной патологии.

Занятия лечебной физкультурой преследуют следующие цели:

- улучшение оттока венозной крови и лимфы из нижних конечностей;
- уменьшение отечности и болевых ощущений;
- восстановление или поддержание полного объема движений в коленном суставе;
- укрепление мышечного корсета голени и бедра;
- повышение переносимости повседневных нагрузок [1].

Основные методы лечебной физической культуры.

1. Упражнения для мышечно-венозной помпы голени.

Выполняются из исходного положения лежа на спине с приподнятыми ногами (15–20°). Используются: ритмичные тыльные и подошвенные сгибания стоп, круговые вращения, сжимание пальцев. Эти движения заставляют глубокие вены голени опорожняться, имитируя естественный «периферический венозный насос».

2. Кинезиотерапия коленного сустава.

При сопутствующем артрозо-артрите эффективны:

- пассивное и активное сгибание-разгибание в колене в положении сидя со свободно свисающей голенью;
- изометрические напряжения четырехглавой мышцы бедра;
- разработка разгибания с валиком под коленом.

При обострении синовита нагрузка снижается, исключаются полные приседания и прыжки.

3. Дыхательные упражнения.

Применяются диафрагмальное и грудное дыхание в спокойном темпе. Выдох способствует снижению внутригрудного давления, что облегчает приток венозной крови к сердцу. Запрещаются упражнения с задержкой дыхания и натуживанием (риск ретромбоза) [5].

4. Гидрокинезотерапия.

Плавание и аквааэробика (температура воды 28–30 °С) считаются оптимальными: гидростатическое давление улучшает венозный возврат, а разгрузка сустава позволяет безопасно разрабатывать движения. Рекомендуются плавание кролем или брассом без форсированных движений ногами.

5. Что исключается.

Из программы убираются: длительное стояние, статические позы на одной ноге, глубокие приседания, бег, прыжки, упражнения с гантелями на голеностоп, любые действия с натуживанием и резкой сменой положения тела [6, 7].

Заключение

Посттромбофлебитическая болезнь нижних конечностей в стадии реканализации, особенно в сочетании с посттравматическим артрозо-артритом коленного сустава, требует обязательного включения методов ЛФК в программу реабилитации. Лечебная гимнастика, дозированная ходьба и гидрокинезотерапия при соблюдении принципов компрессионной поддержки и исключении натуживания позволяют уменьшить отек и боль, повысить толерантность к нагрузкам и предотвратить развитие контрактур. Систематические занятия ЛФК дают устойчивый функциональный результат, являясь основой сохранения качества жизни пациентов данной группы [8, 9].

Литература

1. Бурякин Ф.Г. Лечебная физическая культура и массаж : учеб. пособие. – М. : КноРус, 2024. – 192 с.
2. Кириенко А.И. Хронические заболевания вен: клинические рекомендации / А.И. Кириенко, А.А. Матюшенко, В.В. Андрияшкин. – М. : Российское общество ангиологов и сосудистых хирургов, 2023. – 112 с.
3. Клинические рекомендации «Посттромбофлебитическая болезнь» (2025) Ассоциация флебологов России. – М., 2025. – 94 с.
4. Вайнер Э.Н. Лечебная физическая культура : учебник. – М. : КноРус, 2024. – 346 с.
5. Белая Н.А. Лечебная физкультура при заболеваниях вен нижних конечностей // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2023. – Т. 21. – № 2. – С. 89–96.
6. Гидрокинезотерапия при посттромбофлебитическом синдроме: систематический обзор // Вестник восстановительной медицины. – 2024. – Т. 13. – № 1. – С. 44–52.
7. Любарская Е.В. Компрессионная терапия и ЛФК в реабилитации больных посттромбофлебитической болезнью / Е.В. Любарская, А.А. Смирнов. – СПб. : Диалог, 2024. – 128 с.
8. Демишев М.А. Здоровый образ жизни студента и его составляющие в период обучения в вузе / М.А. Демишев, В.А. Питкин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 280–283.
9. Черемных Н.А. Влияние физической культуры на эффективность учебной деятельности студентов / Н.А. Черемных, В.А. Питкин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 430–432.

References

1. Buryakin F.G. Therapeutic physical culture and massage : textbook. – M. : KnoRus. 2024. – 192 p.
2. Kirienko A.I. Chronic Venous Diseases: clinical guidelines / A.I. Kirienko, A.A. Matyushenko, V.V. Andriyashkin. – M. : Russian Society of Angiologists and Vascular Surgeons, 2023. – 112 p.
3. Clinical Guidelines «Postthrombophlebitic Disease» (2025). Association of Phlebologists of Russia. – M., 2025. – 94 p.
4. Vayner E.N. Therapeutic Physical Culture : textbook. – M. : KnoRus. 2024. – 346 p.
5. Belaya N.A. Therapeutic Physical Culture for Venous Diseases of the Lower Extremities // Physiotherapy. Balneology and Rehabilitation. – 2023. – Vol. 21. – № 2. – P. 89–96.
6. Hydrokinesiotherapy for Postthrombophlebitic Syndrome: a systematic review // Bulletin of Restorative Medicine. – 2024. – Vol. 13. – № 1. – P. 44–52.
7. Lyubarskaya E.V. Compression Therapy and Therapeutic Physical Culture in Rehabilitation of Patients with Postthrombophlebitic Disease / E.V. Lyubarskaya, A.A. Smirnov. – SPb. : Dialog. – 2024. – 128 p.
8. Demishev M.A. Healthy lifestyle of a student and its components during the period of study at a university / M.A. Demishev, V.A. Pitkin // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 4. – P. 280–283.
9. Cheremnykh N.A. The influence of physical education on the effectiveness of students' academic activities / N.A. Cheremnykh, V.A. Pitkin // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2023. – № 2. – P. 430–432.

УДК 612.176.4

ВЛИЯНИЕ КИКСКУТЕРИНГА НА АКАДЕМИЧЕСКУЮ УСПЕВАЕМОСТЬ СТУДЕНТОВ

♦♦♦♦♦

THE IMPACT OF KICK SCOOTERING ON STUDENTS' ACADEMIC PERFORMANCE

Морозов Георгий Игоревич
студент группы 24-М-СЖ2,
факультет инженерии машиностроения и транспорта
Кубанский государственный технологический университет
morozovgeorgij46@gmail.com

Питкин Виктор Александрович
старший преподаватель кафедры
физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

Аннотация. В современной молодежной культуре трюковой кикскутеринг (фристайл на самокате) перестал быть маргинальным увлечением и трансформировался в полноценный экстремальный вид спорта с развитой инфраструктурой скейт-парков и системой соревнований. Для студенческой аудитории, находящейся в периоде активного личностного и профессионального становления, этот спорт представляет особый интерес. Долгое время занятия экстремальными видами спорта рассматривались педагогами и родителями исключительно как фактор риска или отвлекающий от учебы элемент. Однако современные исследования в области спортивной психологии, нейрофизиологии и педагогики позволяют взглянуть на эту проблему иначе. Регулярные занятия трюковым кикскутерингом формируют специфический набор когнитивных и личностных компетенций, которые могут позитивно транслироваться в академическую среду. Цель данной статьи – проанализировать механизмы, посредством которых фристайл на самокате влияет на академическую успеваемость студентов, опираясь на данные отечественных и зарубежных научных источников.

Ключевые слова: кикскутеринг, спорт, успеваемость, компетенции.

Morozov Georgy Igorevich
Student Group 24-M-SZh2,
Faculty of Mechanical Engineering and Transport,
Kuban State Technological University
morozovgeorgij46@gmail.com

Pitkin Victor Alexandrovich
Senior Lecturer of the Department of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

Annotation. In contemporary youth culture, freestyle kick scootering has ceased to be a marginal hobby and has evolved into a fully-fledged extreme sport, characterized by a well-developed skate park infrastructure and an organized competition system. For the student demographic, which is undergoing a period of active personal and professional development, this sport is of particular interest. For a long time, educators and parents viewed participation in extreme sports exclusively as a risk factor or a distraction from academic pursuits. However, contemporary research in sports psychology, neurophysiology, and pedagogy allows for a different perspective on this issue. Regular engagement in freestyle kick scootering fosters a specific set of cognitive and personal competencies that can be positively transferred to the academic environment. The objective of this article is to analyze the mechanisms through which freestyle kick scootering influences students' academic performance, drawing upon data from both domestic and international scientific sources.

Keywords: kick scootering, sport, academic performance, competencies.

Нейрофизиологические аспекты: сложная моторика и когнитивный резерв

Академическая успеваемость базируется на таких когнитивных функциях, как концентрация внимания, рабочая память и исполнительный контроль. Трюковой кикскутеринг предъявляет экстремальные требования к вестибулярному аппарату, проприоцепции (ощущению положения тела в пространстве) и зрительно-моторной координации. Выполнение таких элементов, как барспин, тейлвип или грэб, требует высокой конценрации.

В современном мире, где стресс и напряжение стали неотъемлемой частью жизни, забота о психическом здоровье становится крайне важной [1].

Как отмечается в классических работах по спортивной медицине, сложные координационные движения активируют не только моторные зоны коры, но и стимулируют связи между мозжечком и префронтальной корой головного мозга, которая отвечает за планирование, переключение внимания и контроль импульсов [3]. Современные исследования подтверждают, что аэробные нагрузки умеренной и высокой интенсив-

ности, характерные для катания на самокате, способствуют выработке нейротрофического фактора мозга (BDNF), что напрямую улучшает процессы запоминания и обучения [2, 11]. Студент, регулярно тренирующий мозг через освоение новых трюков, развивает нейронные сети, которые впоследствии помогают ему удерживать фокус на длительных лекциях или при решении сложных академических задач.

Психологические механизмы: самоэффективность и состояние потока

Одной из главных проблем студенчества является высокий уровень академического стресса, ведущий к выгоранию и снижению успеваемости [5]. Трюковой кикскутеринг выступает мощным инструментом психологической разгрузки и формирования резильентности (психологической устойчивости). Специфика этого спорта неразрывно связана с падениями и неудачами. Процесс обучения любому новому трюку строится по принципу «пробаошибка». Студент-райдер учится воспринимать падение не как катастрофу, а как неизбежный этап получения обратной связи для корректировки действий.

Этот навык напрямую переносится в учебный процесс: студент становится менее восприимчивым к академическим неудачам (например, низкой оценке за контрольную) и более настойчивым в достижении целей. Согласно теории самоэффективности А. Бандуры, успешное преодоление физических трудностей и освоение сложных элементов формирует у человека глубокую веру в собственные силы, что положительно коррелирует с академической мотивацией [6]. Кроме того, во время катания райдеры часто испытывают «состояние потока» (по М. Чиксентмихайи) – состояние полной поглощенности деятельностью, когда исчезает чувство времени и тревоги [4]. Это позволяет эффективно «перезагружать» психику после интенсивной умственной работы, предотвращая хроническое переутомление.

Навыки тайм-менеджмента и целеполагания

Вопреки стереотипу о том, что спорт отнимает время у учебы, исследования показывают, что студенты, вовлеченные в структурированную физическую активность, часто демонстрируют более высокие навыки самоорганизации. Как отмечают З.В. Кузнецова и Д.Э. Дьяконов, «регулярные занятия спортом положительно коррелируют с более высокими показателями успеваемости... Умеренная физическая активность способствует улучшению навыков управления временем» [7]. Освоение трюкового катания требует системного подхода: разминка, отработка базовых элементов, анализ видео. Студент, который хочет прогрессировать в кикскутеринге и при этом успешно учиться, вынужден осваивать жесткий тайм-менеджмент. Умение декомпозировать сложную задачу (например, разбить изучение нового трюка на этапы: заезд, вылет, вращение, приземление) является прямым аналогом навыка написания курсовой работы или подготовки к экзамену. Систематический обзор Trott и соавторов (2024) подтверждает, что высокая физическая активность значительно связана с высокой академической успеваемостью (отношение шансов = 3,04) [9].

Потенциальные риски и ограничивающие факторы

Для объективности анализа необходимо признать и негативные аспекты. Трюковой кикскутеринг относится к экстремальным видам спорта, что несет в себе повышенный риск травматизма (ушибы, растяжения, переломы, черепно-мозговые травмы). Как подчеркивается в исследовании Mon-López и соавторов (2025), «травмы влияют на физическое здоровье спортсменов и академическую успеваемость, приводя к физическим проблемам и академическим трудностям» [8]. Несоблюдение техники безопасности и пренебрежение средствами индивидуальной защиты (шлем, наколенники, защита запястий) может привести к длительному периоду реабилитации, что неизбежно скажется на посещаемости и успеваемости.

Заключение

Трюковой кикскутеринг при грамотном подходе положительно влияет на успеваемость студентов (развитие когнитивных функций, стрессоустойчивости, тайм-менеджмента). Как отмечает В.И. Столяров, необходима адекватная современным требованиям физкультурно-спортивная работа [10]. Интеграция экстремальных видов спорта в программы вузов и создание скейт-парков на кампусах повысят и здоровье, и академические достижения молодёжи.

Литература

1. Питкин В.А. Влияние регулярных физических упражнений на психическое здоровье и эмоциональное состояние человека / В.А. Питкин, Л.А. Холодная, Р.И. Полянский // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 262–264.
2. Hillman C.H. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition / C.H. Hillman, K.I. Erickson, A.F. Kramer // Nature Reviews Neuroscience. – 2008. – № 9(1). P. 58–65.
3. Дубровский В.И. Спортивная медицина : учебник для студентов вузов. – М. : ВЛАДОС. 2019. – 528 с.
4. Чиксентмихайи М. Поток: Психология оптимального переживания. – М. : Альпина нонфикшн, 2021. – 384 с.
5. Гончарова А.Е. Взаимосвязь уровня стресса студентов с академической успеваемостью (с использованием методики Ю.В. Щербатых) / А.Е. Гончарова, К.П. Новикова // Северо-Кавказский психологический вестник. – 2024. – № 1. – С. 45–53.
6. Гордеева Т.О. Психология мотивации достижения. – М. : Смысл. 2018. – 336 с.
7. Кузнецова З.В. Влияние спортивной деятельности на академическую успеваемость студентов / З.В. Кузнецова, Д.Э. Дьяконов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2025. – № 1(215). – С. 115–121.
8. Mon-López D. Injuries among students combining academic studies and elite sports. Scientific Reports. – 2025. – № 15(1). – 13357 p.
9. Associations between total physical activity levels and academic performance in adults: A systematic review and meta-analysis / M. Trott [et al.] // Journal of Education and Health Promotion. – 2024. – № 13(1). – 273 с.
10. Столяров В.И. Инновационная концепция модернизации теории и практики физического воспитания : монография. – М. : РУСАЙНС. 2021. – 156 с.
11. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age groups. Frontiers in Psychology / S. Ludyga [et al.]. – 2016. – № 7. – 1125 p.

References

1. Pitkin V.A. The Impact of Regular Physical Exercise on Mental Health and Emotional State / V.A. Pitkin, L.A. Kholodnaya, R.I. Polyansky // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 262–264.
2. Hillman C.H. Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition / C.H. Hillman, K.I. Erickson, A.F. Kramer // Nature Reviews Neuroscience. – 2008. – № 9(1). P. 58–65.
3. Dubrovsky V.I. Sports Medicine : textbook for University Students. – M. : Vlados, 2019. – 528 p.
4. Csikszentmihalyi M. Potok: Psychology of Optimal Experience. – M. : Alpina Non-Fiction. – 2021. – 384 p.
5. Goncharova A.E. The Relationship between Students' Stress Level and Academic Performance (using the methodology of Yu.V. Shcherbatykh) / A.E. Goncharova, K.P. Novikova // North Caucasian Psychological Bulletin. – 2024. – № 1. P. 45–53.
6. Gordeeva T.O. Psychology of Achievement Motivation. – M. : Smysl. 2018. – 336 p.
7. Kuznetsova Z.V. The Impact of Sports Activities on Students' Academic Performance / Z.V. Kuznetsova, D.E. Dyakonov // Scientific Notes of the Lesgaft University. – 2025. – № 1(215). – P. 115–121.
8. Mon-López D. Injuries among students combining academic studies and elite sports. Scientific Reports. – 2025. – № 15(1). – 13357 p.
9. Associations between total physical activity levels and academic performance in adults: A systematic review and meta-analysis / M. Trott [et al.] // Journal of Education and Health Promotion. – 2024. – № 13(1). – 273 с.
10. Stolyarov V.I. Innovative concept for modernizing the theory and practice of physical education : monograph. – M. : RUSAINS. 2021. – 156 p.
11. Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age groups. Frontiers in Psychology / S. Ludyga [et al.]. – 2016. – № 7. – 1125 p.

УДК 796.011

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ЛИЧНЫЙ ТРЕНЕР В СПОРТЕ: РЕВОЛЮЦИЯ В ПЕРСОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ

♦♦♦♦♦

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A PERSONAL SPORTS COACH: A REVOLUTION IN PERSONALIZED TRAINING

Питкин Виктор Александрович
старший преподаватель кафедры
физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

Еременко Вера Николаевна
старший преподаватель
кафедры физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
vera_er_ko@mail.ru

Кириловец Сергей Викторович
студент группы 24-М-СЖ2,
факультет инженерии машиностроения и транспорта,
Кубанский государственный технологический университет
svkirilovec45@gmail.com

Аннотация. В статье анализируется применение искусственного интеллекта в персональном спортивном тренинге. Рассматриваются технологические основы ИИ-тренеров (машинное обучение, компьютерное зрение, предиктивная аналитика), их преимущества – персонализация, доступность, объективность, а также ограничения – отсутствие эмпатии, риски качества данных и этические вызовы. Обоснована модель гибридного коучинга, где ИИ дополняет, но не заменяет эксперта-человека. Материалы полезны для тренеров, разработчиков фитнес-платформ и спортивных организаций.

Ключевые слова: искусственный интеллект, персональный тренинг, спортивная аналитика, цифровой коучинг, адаптивные нагрузки, этика ИИ.

Pitkin Victor Alexandrovich
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

Eremenko Vera Nikolaevna
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
vera_er_ko@mail.ru

Kirilovets Sergey Viktorovich
Student of group 24-M-SJ2,
Faculty of Mechanical Engineering
and Transport Engineering,
Kuban State Technological University
svkrilovec45@gmail.com

Annotation. This article analyzes the application of artificial intelligence in personalized sports training. It examines the technological foundations of AI-driven coaching (machine learning, computer vision, and predictive analytics), their advantages – including personalization, accessibility, and objectivity – as well as their limitations, such as a lack of empathy, data quality risks, and ethical challenges. The paper substantiates a hybrid coaching model in which AI complements, rather than replaces, the human expert. These materials are of value to coaches, developers of fitness platforms, and sports organizations.

Keywords: artificial intelligence, personal training, sports analytics, digital coaching, adaptive workloads, AI ethics.

Введение

Современный спорт давно вышел за рамки интуитивных методик и субъективных оценок тренера. На смену традиционным подходам приходят цифровые технологии, способные обрабатывать огромные массивы биометрических и поведенческих данных, выдавая рекомендации с хирургической точностью. Одним из наиболее динамично развивающихся направлений стало внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в роль персонального тренера. Эта парадигма не стремится полностью заменить человека, а дополняет его экспертизу, предлагая уровень персонализации, доступности и объективности, ранее недоступный широкой аудитории. В данной статье рассматриваются механизмы работы ИИ-тренеров, их технологическая основа, преимущества, ограничения и перспективы интеграции в спортивную подготовку.

Основная часть

ИИ-тренер представляет собой не антропоморфного робота, а сложную программно-аппаратную экосистему, объединяющую машинное обучение, компьютерное зрение и аналитику больших данных. На начальном этапе система собирает много-

мерную информацию: физиологические показатели (частота сердечных сокращений, вариабельность ритма, уровень лактата, качество сна), кинематические параметры (траектории движений, углы суставов, скорость выполнения), историю нагрузок, целевые ориентиры и даже психоэмоциональный фон пользователя [1]. Нейросетевые алгоритмы обрабатывают эти данные, выявляя скрытые закономерности, точки перетренированности и технические дефекты. На основе этого формируется адаптивный тренировочный план, который корректируется в режиме реального времени. Например, системы компьютерного зрения способны анализировать видео приседаний или бега через камеру смартфона, мгновенно указывая на отклонения в положении позвоночника или распределении нагрузки на колени [2].

Технологический фундамент цифрового коучинга

Ключевыми элементами ИИ-тренеров выступают носимые сенсоры, мобильные платформы и облачные вычислительные мощности. Умные часы, фитнес-трекеры, инерционные датчики и умная одежда непрерывно транслируют данные в аналитические ядра, где алгоритмы самообучаются на новых кейсах [3]. Компьютерное зрение устраняет необходимость в маркерных системах: достаточно одного или двух ракурсов для трёхмерной реконструкции движения. Машинное обучение обеспечивает динамическую адаптацию программ: при замедлении восстановления система автоматически снижает объём или интенсивность, а при стабилизации адаптационных резервов предлагает прогрессивную перегрузку [4]. Предиктивная аналитика позволяет прогнозировать наступление «плато» в результатах или повышенный риск микротравм, что особенно ценно в циклических и силовых дисциплинах, где грань между прогрессом и повреждением крайне тонка [5].

Преимущества перед традиционным коучингом

Главное достоинство ИИ-тренеров заключается в демократизации качественной спортивной подготовки. Услуги квалифицированного специалиста стоят дорого и географически ограничены, тогда как приложения с ИИ-алгоритмами обеспечивают сопоставимую степень персонализации при минимальной стоимости [6]. Кроме того, цифровой тренер функционирует круглосуточно, не подвержен усталости, когнитивным искажениям или эмоциональному выгоранию. Он объективно фиксирует прогресс, исключая субъективизм и «тренерскую слепоту». Исследования демонстрируют, что пользователи платформ с ИИ-сопровождением демонстрируют на 20–30 % более высокую приверженность тренировочному процессу по сравнению с группами, занимающимися без цифровой поддержки [7]. Отдельного внимания заслуживает интеграция ИИ в реабилитационную практику: алгоритмы дозируют нагрузку, контролируют компенсаторные движения и минимизируют риски рецидивов после травм [8].

Ограничения, риски и этические вызовы

Несмотря на очевидные преимущества, ИИ-тренеры не лишены системных ограничений. Отсутствие эмпатии, невербальной поддержки и способности работать с мотивационными кризисами остаётся критическим пробелом: преодоление страха неудачи, работа с выгоранием и формирование устойчивой спортивной идентичности требуют человеческого участия [9]. Кроме того, качество рекомендаций напрямую зависит от точности входящих данных: погрешности бюджетных сенсоров или алгоритмические смещения могут привести к неоптимальным или потенциально опасным сценариям. Вопросы конфиденциальности биометрических данных также остаются острыми: кто владеет информацией о здоровье пользователя, как обеспечивается её защита и возможна ли коммерциализация без явного согласия? Эксперты единогласно подчёркивают, что ИИ должен рассматриваться как инструмент дополненной, а не полной замены профессионального специалиста, особенно в работе с профессиональными атлетами и лицами с ограниченными возможностями здоровья [1]. Наконец, сохранение интуитивного восприятия собственного тела и предотвращение «цифровой зависимости» от показателей остаются важными аспектами, которые технологии пока не способны заместить.

Заключение

Искусственный интеллект уже трансформирует индустрию персонального тренинга, предлагая доступную, точную и непрерывно адаптирующуюся альтернативу традиционным методам. Он не отменяет роль человека, а переопределяет её: тренер становится стратегом, ментором и интерпретатором данных, тогда как ИИ берёт на се-

бя рутину мониторинга, анализа и планирования. В ближайшие годы ожидается глубокая интеграция ИИ-тренеров с виртуальной и дополненной реальностью, генеративными моделями для сценарного моделирования нагрузок и медицинскими биосенсорами нового поколения. Однако ключ к устойчивому прогрессу лежит в балансе: технологии должны служить спортсмену, а не подменять человеческое понимание, поддержку и профессиональную интуицию. Будущее спорта – за синергией алгоритмической точности и человеческой экспертизы, где каждый занимающийся получает персонального тренера, который никогда не спит, но при этом остаётся в надёжных руках специалиста.

Литература

1. Таджиева С. Искусственный интеллект в современном спорте: прогнозирование, адаптация и повышение эффективности // Наука и мировоззрение. – 2025.
2. Окашев Р.Д. Use of artificial intelligence in personalized physical training programs / Р.Д. Окашев, В.Н. Саидулин, М.Б. Алигулова // Сборник научных трудов. – 2025. – С. 1583–1588.
3. Использование технологий компьютерного зрения для оценки спортивной техники и механики движений // CyberLeninka. – 2024.
4. Солонец А.В. Применение искусственного интеллекта для прогнозирования риска травм у спортсменов: подход с использованием рекуррентных нейронных сетей / А.В. Солонец, А.С. Снарский // Системный анализ и прикладная информатика. 2025. – № 2. – С. 11–16. DOI: 10.21122/2309-4923-2025-2-11-16
5. Торяникова Е.А. Роль искусственного интеллекта в спортивной подготовке / Е.А. Торяникова, М.Н. Нестерова // Наука-2020. – 2025.
6. Солонец А.В. Применение искусственного интеллекта для прогнозирования риска травм у спортсменов / А.В. Солонец, А.С. Снарский // Системный анализ и прикладная информатика. – 2025. – № 2. – С. 11–16.
7. Окашев Р.Д. Use of artificial intelligence in personalized physical training programs / Р.Д. Окашев, В.Н. Саидулин, М.Б. Алигулова. – 2025. – С. 1585–1586.
8. Kettunen E., Kari T., Frank L. Digital Coaching and Athlete's Self-Efficacy // The 12th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS). – Corfu, Greece, 2018.
9. Марко Кими Милич. Роль искусственного интеллекта в персонализированной физической реабилитации спортсменов после перенесённой инфекции COVID-19 / Кими Милич Марко, С.Т. Кохан // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. – 2025. – № 3(39). DOI: 10.14258/zosh(2025)3.04.
10. Jud M. AI in digital sports coaching – a systematic review / M. Jud, S. Thalmann // Taylor & Francis. – 2025. DOI: 10.1080/23750472.2024.2449016

References

1. Tadzhieva S. Artificial Intelligence in Modern Sports: Prediction, Adaptation, and Performance Enhancement // Science and Worldview. – 2025.
2. Okashev R.D. Use of Artificial Intelligence in Personalized Physical Training Programs / R.D. Okashev, V.N. Saidulin, M.B. Aligulova // Collection of Scientific Papers. – 2025. – P. 1583–1588.
3. Use of Computer Vision Technologies for Assessing Sports Technique and Movement Mechanics // CyberLeninka. – 2024.
4. Solonets A.V. Application of Artificial Intelligence for Predicting Injury Risk in Athletes: An Approach Using Recurrent Neural Networks / A.V. Solonets, A.S. Snarsky // System Analysis and Applied Informatics. – 2025. – № 2. – P. 11–16. DOI: 10.21122/2309-4923-2025-2-11-16
5. Toryanikova E.A. The Role of Artificial Intelligence in Sports Training / E.A. Toryanikova, M.N. Nesterova // Science-2020. – 2025.
6. Solonets A.V. Application of Artificial Intelligence for Predicting Injury Risk in Athletes / A.V. Solonets, A.S. Snarsky // System Analysis and Applied Informatics. – 2025. – № 2. – P. 11–16.
7. Okashev R.D. Use of Artificial Intelligence in Personalized Physical Training Programs. – 2025. – P. 1585–1586.
8. Kettunen E. Digital Coaching and Athlete's Self-Efficacy / E. Kettunen, T. Kari, L. Frank // The 12th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS). – Corfu, Greece, 2018.
9. Marko Kimi Milich The Role of Artificial Intelligence in Personalized Physical Rehabilitation of Athletes after COVID-19 Infection / Kimi Milich Marko, S.T. Kokhan // Human Health, Theory and Methodology of Physical Culture and Sports. – 2025. – № 3(39). DOI: 10.14258/zosh(2025)3.04
10. Jud M. AI in Digital Sports Coaching – A Systematic Review / M. Jud, S. Thalmann // Taylor & Francis. – 2025. DOI: 10.1080/23750472.2024.2449016.

УДК 796

ЛЕЧЕБНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА ПРИ АРТРИТАХ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

♦♦♦♦♦

THERAPEUTIC PHYSICAL CULTURE IN ARTHRITIS: BASIC PRINCIPLES AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS

Питкин Виктор Александрович
старший преподаватель кафедры
физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

Степаненко Владимир Николаевич
студент группы 24-МБ-ТП2,
факультет инженерии машиностроения и транспорта,
Кубанский государственный технологический университет
vovastepsnenko777@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются возможности лечебной физической культуры в комплексном ведении пациентов с артритами. На основе анализа клинических руководств выделены три стадии заболевания (обострение, подострый период, ремиссия), для каждой предложены дифференцированные двигательные режимы. Демонстрируется, что рационально построенные занятия позволяют затормозить развитие контрактур, уменьшить выраженность болевого синдрома и сохранить функциональную активность суставов. Приведены конкретные комплексы для коленной, тазобедренной локализации и для кисти. Делается вывод о том, что ЛФК служит необходимым звеном реабилитации, однако её применение требует персонального подхода и медицинского сопровождения.

Ключевые слова: лечебная физкультура, артрит, реабилитация, кинезотерапия, мышечная атрофия, контрактуры, суставная гимнастика.

Pitkin Victor Alexandrovich
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

Stepanenko Vladimir Nikolaevich
Student of the 24-MB-TP2 group,
Faculty of Mechanical Engineering
and Transport,
Kuban State Technological University
vovastepsnenko777@gmail.com

Annotation. The article discusses the potential of therapeutic physical culture in the comprehensive management of patients with arthritis. Based on the analysis of clinical guidelines, three stages of the disease (exacerbation, subacute period, remission) are identified, and differentiated motor regimes are proposed for each. It is demonstrated that rationally designed exercises can slow down the development of contractures, reduce the severity of pain syndrome, and preserve the functional activity of joints. Specific exercise complexes for the knee, hip and hand are presented. It is concluded that therapeutic physical culture is an essential component of rehabilitation, however its application requires an individual approach and medical supervision.

Keywords: therapeutic physical culture, arthritis, rehabilitation, kinesiotherapy, muscle atrophy, contractures, joint gymnastics.

Введение

Широко распространено мнение, что при артрите любой двигательной активности следует избегать. Действительно, в разгар острого воспаления сустав нуждается в ограничении физической нагрузки. Однако длительное обездвиживание формирует новые проблемы: связочный аппарат утрачивает эластичность, околосуставные мышцы атрофируются, а в капсуле развиваются фиброзные изменения. В итоге даже после купирования воспаления пациент сталкивается со стойкой тугоподвижностью, восстановить которую порой сложнее, чем вылечить сам артрит [1, 2].

Современная реабилитология утверждает обратное: раннее (но осторожное) подключение движений приносит больше пользы, чем полный покой. Разумеется, речь идёт не о спортивных нагрузках, а о специально подобранных, упражнениях лечебной физкультуры. Они улучшают трофику тканей, стимулируют выработку синовиальной жидкости и препятствуют мышечной гипотрофии. Несмотря на это, на практике ЛФК при артритах применяется недостаточно – из-за опасений пациентов, нехватки квалифицированных кадров или недооценки метода врачами. Цель данной статьи – систематизировать основные принципы кинезотерапии при данной патологии и предложить практические алгоритмы для разных клинических ситуаций.

Обоснование применения движений при воспалении суставов

В основе артрита лежит иммуновоспалительная реакция, поражающая синовиальную оболочку. Боль и отёк ведут к рефлекторному напряжению мышц, что дополнительно ограничивает подвижность и ухудшает метаболизм в тканях. Если этот круг не разорвать, в суставе происходят структурные изменения: капсула утолщается, хрящ истончается, а в связках снижается содержание коллагена [3].

Лечебная физкультура разрывает этот порочный круг. Умеренные, дозированные сокращения мышц работают как мышечный насос, усиливая кровоток и лимфоток. Это способствует рассасыванию отёка и выведению медиаторов воспаления. Параллельно улучшается питание хряща за счёт диффузии синовиальной жидкости. Наконец, сохранение мышечного тонуса обеспечивает динамическую стабилизацию сустава, снижая риск его деформации. Таким образом, ЛФК воздействует не только на симптомы, но и на механизмы прогрессирования болезни [4].

Дифференцированный подход по периодам заболевания

Эффективность ЛФК напрямую зависит от того, насколько точно подобраны упражнения под текущую фазу артрита.

Обострение

В острый период, когда сустав отёчен, гиперемирован и резко болезнен, активные движения в нём исключаются. Но полная неподвижность противопоказана. Пациенту рекомендуют:

– статические дыхательные упражнения;

– изометрическое напряжение мышц (например, напряжение бедра при гонартрите без изменения положения ноги);

– пассивные движения с малой амплитудой, выполняемые инструктором или здоровой конечностью.

Длительность занятия не превышает 10–15 минут. Задачи этапа – минимизировать атрофию мышц и предотвратить застой в дыхательной и сердечно-сосудистой системах [1].

Подострый период

По мере восстановления (снижение местной температуры, уменьшение отёчности) разрешают активные движения. Начинают с исходных положений, разгружающих сустав: лёжа на спине, на боку, сидя. Амплитуду увеличивают осторожно, до появления лёгкого дискомфорта, но не острой боли. При гонартрите полезно скольжение пяткой по поверхности, при коксартрите – отведение ноги в положении лёжа на боку. Занятия проводят ежедневно по 20–25 минут. Контрольный критерий: если после упражнений боль не нарастает к вечеру и нет утренней скованности, нагрузка адекватна [5].

Ремиссия

При отсутствии клинических признаков воспаления (несколько недель и более) основные цели – укрепление мышечного корсета и восстановление полного объёма движений. Показаны ходьба (в медленном и среднем темпе), плавание в тёплой воде, велотренажёр с минимальным сопротивлением. Исключаются ударные нагрузки: прыжки, бег, приседания с полной амплитудой. Гидрокинезотерапия особенно эффективна, так как тёплая вода уменьшает мышечный спазм и позволяет выполнять движения с большей амплитудой без болевых ощущений [2, 6].

Особенности ЛФК при различной локализации поражения

Каждый сустав имеет свои биомеханические особенности, что требует адаптации упражнений.

Гонартрит. Основная проблема – слабость четырёхглавой мышцы бедра и сгибательная контрактура. Рекомендуется изометрическое напряжение мышцы (удержание выпрямленной ноги на весу 5–10 секунд в положении сидя), а также катание стопой валика для улучшения кровообращения. Активные сгибания-разгибания выполняют лёжа с валиком под коленом.

Коксартрит. Приоритет – сохранение отведения и разгибания. Упражнения: лёжа на боку поднимать верхнюю ногу, лёжа на животе – поднимать прямую ногу назад. Ходьба обязательна с тростью в руке, противоположной больному суставу (это снижает осевую нагрузку на 25–30 %). Приседания противопоказаны.

Ревматоидный артрит кистей. Направленность – поддержание пинцетного захвата и профилактика ульнарной девиации. Показаны сжатие губчатого мяча, поочерёдное касание большого пальца с остальными, «пальчиковая ходьба» по столу. Важно избегать длительного переразгибания в пястно-фаланговых суставах [5].

Противопоказания и меры предосторожности

Абсолютные противопоказания к ЛФК при артритах включают:

– фебрильную температуру (выше 38 °C);
– активный системный васкулит (при ревматоидном артрите);
– свежий внутрисуставной перелом;
– тромбоз глубоких вен.

Относительные противопоказания: сильная боль (более 7 баллов по визуальной аналоговой шкале) и декомпенсированная сердечная недостаточность. В таких случаях занятия проводят только под контролем врача ЛФК, с использованием пассивных движений и изометрических упражнений [6].

Пациенту следует запомнить простое правило: не преодолевать острую боль. Допустимо лишь ощущение лёгкого растяжения, которое проходит в течение нескольких минут после окончания движения.

Распространённые ошибки в реабилитации

Практика показывает, что эффективность ЛФК снижается из-за нескольких типичных просчётов.

Первая ошибка – полное избегание движений. Пациент боится обострения и годами щадит сустав. Результат – стойкие контрактуры и выраженная атрофия мышц. Вторая – форсирование нагрузок: попытка «разработать» сустав через боль, использование рывковых движений или отягощений. Это часто провоцирует реактивный синовит.

Третья ошибка – нерегулярность занятий. Кратковременные курсы гимнастики (например, «неделя занятий – затем перерыв на месяц») не дают устойчивого эффекта. Хронический артрит требует ежедневных, пусть и непродолжительных, тренировок. Наконец, некоторые пациенты ошибочно полагают, что ЛФК может заменить базисную противовоспалительную терапию. В активной фазе заболевания упражнения лишь дополняют лекарства, но не отменяют их [3].

Влияние на качество жизни

Помимо локального эффекта на суставы, регулярная лечебная гимнастика улучшает психоэмоциональное состояние. Человек обретает чувство контроля над своим телом, уменьшается тревога и депрессия. Клинические наблюдения показывают, что пациенты, систематически занимающиеся ЛФК, реже жалуются на бессонницу и имеют более высокий уровень социальной активности. У пожилых укрепление мышц нижних конечностей снижает риск падений и переломов – один из главных факторов, ограничивающих продолжительность активной жизни [7].

Со временем у многих уменьшается потребность в нестероидных противовоспалительных препаратах. Полностью отменить их удаётся нечасто, но снижение дозировки уменьшает риск гастротоксических осложнений.

Рекомендации для домашних занятий

После обучения у инструктора пациент может выполнять комплекс самостоятельно. Целесообразно придерживаться следующих правил:

– Начинать с короткой разминки (лёгкое растирание области сустава).

– Движения выполнять плавно, без рывков, останавливаться при возникновении острой боли.

– Дышать ритмично: на усилие – выдох, на расслабление – вдох.

– Избегать тяжёлых гантелей и мощных эспандеров; предпочтительны многократные повторения с минимальным сопротивлением.

– Вести дневник самоконтроля, фиксируя объём упражнений и самочувствие – это поможет врачу своевременно корректировать программу.

Роль специалиста и медицинский контроль

Начинать занятия ЛФК следует под руководством реабилитолога или инструктора. Врач оценивает исходную амплитуду, мышечную силу, выявляет патологические

двигательные стереотипы и составляет индивидуальную программу [8]. Обычно достаточно 3–4 занятий для освоения техники, после чего возможен переход на домашний режим с контрольными визитами раз в 2–3 месяца.

Заключение

Лечебная физическая культура при артритах представляет собой не вспомогательный, а обязательный компонент комплексной терапии. Её рациональное применение позволяет затормозить развитие контрактур, сохранить мышечную силу и улучшить качество жизни пациентов. Успех достигается только при строгом соблюдении периодизации нагрузок (обострение – подострый период – ремиссия), учёте локализации поражения и индивидуальном подборе упражнений. Бесконтрольное, самостоятельное использование ЛФК может спровоцировать обострение, поэтому решения о начале и характере занятий должны приниматься совместно с врачом [11, 12, 13].

Литература

1. Дубровский В.И. Лечебная физическая культура (кинезотерапия). – М. : ВЛАДОС, 2001. – 608 с.
2. Епифанов В.А. Лечебная физическая культура / В.А. Епифанов, А.В. Епифанов. – 5-е изд. – М. : ГЭОТАР-Медиа. 2024. – 656 с.
3. Маргазин В.А. ЛФК при заболеваниях суставов. – 2-е изд. – СПб. : Спец Лит. 2022. – 271 с.
4. Белая Н.А. Лечебная физкультура и массаж. – М. : Советский спорт, 2001. – 272 с.
5. Величко Т.И. Лечебная физическая культура и лечебное плавание в ортопедии / Т.И. Величко, В.А. Лоскутов, И.В. Лоскутова. – СПб. : Лань. 2025. – 124 с.
6. Мошков В.Н. Лечебная физкультура в клинике внутренних болезней. – 3-е изд. – М. : Медицина. 1977. – 375 с.
7. Епифанов В.А. Средства физической реабилитации в терапии остеоартроза. ЛФК и массаж. – 2008. – № 1. – С. 3–12.
8. Питкин В.А. Физическая культура и оздоровительные технологии в физическом воспитании студентов / В.А. Питкин, Л.А. Холодная, Ю.В. Сумарокова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2022. – № 7(209). – С. 321–327.
11. Питкин В.А. Влияние физической активности на образовательные способности студентов / В.А. Питкин, Г.Е. Калайчиев // Наука. Техника. Технологии. – 2022. – № 1. – С. 246–248.
12. Питкин В.А. Анализ эффективности кроссфита как средства физического воспитания / В.А. Питкин, В.Е. Попов // Наука. Техника. Технологии. – 2025. – № 2. – С. 446–448.

References

1. Dubrovsky V.I. Therapeutic Physical Culture (Kinesiotherapy). – M. : VLADOS, 2001. – 608 p.
2. Epifanov V.A., Epifanov A.V. Therapeutic Physical Culture. – 5th ed. – M. : GEOTAR-Media, 2024. – 656 p.
3. Margazin V.A. Therapeutic Physical Culture in Joint Diseases. – 2nd edition. – SPb. : SpetsLit, 2022. – 271 p.
4. Belaya N.A. Therapeutic Exercise and Massage. – M. : Sovetsky Sport, 2001. – 272 p.
5. Velichko T.I. Therapeutic Physical Culture and Therapeutic Swimming in Orthopedics / T.I. Velichko, V.A. Loskutov, I.V. Loskutova. – SPb. : Lan, 2025. – 124 p.
6. Moshkov V.N. Therapeutic Physical Culture in the Clinic of Internal Diseases. – 3nd edition – M. : Meditsina, 1977. – 375 p.
7. Epifanov V.A. Means of Physical Rehabilitation in Osteoarthritis Therapy // Therapeutic Physical Culture and Massage. – 2008. – № 1. – P. 3–12.
8. Pitkin V.A. Physical culture and health technologies in students' physical education / V.A. Pitkin, L.A. Kholodnaya, Yu.V. Sumarokova // Scientific Notes of P.F. Lesgaft University. – 2022. – № 7 (209). – P. 321–327.
11. Pitkin V.A. The influence of physical activity on students' educational abilities / V.A. Pitkin, G.E. Kalaychiev // Science. Engineering. Technologies. – 2022. – № 1. – P. 246–248.
12. Pitkin V.A. Analysis of the effectiveness of CrossFit as a means of physical education / V.A. Pitkin, V.E. Popov // Science. Engineering. Technology. – 2025. – № 2. – P. 446–448.

УДК 796

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ НА ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ЛИЧНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

♦♦♦♦♦

PSYCHOLOGICAL BARRIERS IN PHYSICAL EDUCATION CLASSES AND METHODS OF OVERCOMING THEM THROUGH A PERSONALITY-ORIENTED APPROACH

Россомаха Иван Игоревич
студент группы 25-КБ-ПИ2,
факультет прикладной информатики,
Кубанский государственный технологический университет
ivanrossomakha@gmail.com

Питкин Виктор Александрович
старший преподаватель кафедры
физического воспитания и спорта,
Кубанский государственный технологический университет
irvik25@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются психологические барьеры, снижающие активность школьников и студентов на занятиях физической культурой: страх неудачи и травмы, тревога за собственное тело, отсутствие личного смысла, трудности взаимодействия в группе. Авторы обосновывают, что устранить эти препятствия одинаковыми для всех нормативами невозможно, и предлагают опереться на личностно-ориентированный подход. Раскрыты типология барьеров и согласованные с ней приёмы преодоления – ситуация успеха, индивидуальная образовательная траектория, без отметочное и критериальное оценивание, рефлексия. Намечены критерии результативности такой работы, ориентированные на формирование устойчивой потребности в двигательной активности.

Ключевые слова: физическая культура, психологический барьер, личностно-ориентированный подход, мотивация, ситуация успеха, тревожность, дифференциация, индивидуальная образовательная траектория.

Rossomakha Ivan Igorevich
Student of group 25-KB-PI2,
Faculty of Applied Informatics,
Kuban State Technological University
ivanrossomakha@gmail.com

Pitkin Victor Alexandrovich
Senior Lecturer of the Department
of Physical Education and Sports,
Kuban State Technological University
irvik25@mail.ru

Annotation. The article examines the psychological barriers that reduce the activity of schoolchildren and students in physical education classes: fear of failure and injury, anxiety about one's own body, the lack of personal meaning, and difficulties of interaction within the group. The authors argue that these obstacles cannot be removed by standards identical for everyone, and propose relying on a personality-oriented approach. The typology of barriers and the corresponding techniques for overcoming them are revealed – a situation of success, an individual educational trajectory, non-graded and criteria-based assessment, and reflection. Criteria for the effectiveness of such work are outlined, aimed at forming a sustainable need for physical activity.

Keywords: physical education, psychological barrier, personality-oriented approach, motivation, situation of success, anxiety, differentiation, individual educational trajectory.

Введение

Физическая культура в системе общего и высшего образования решает задачу не разовой сдачи нормативов, а формирования у обучающихся устойчивой потребности в движении и осознанного отношения к собственному здоровью [12]. Однако на практике преподаватель постоянно сталкивается с тем, что часть учащихся уклоняется от активной работы: ищет повод освободиться, держится в стороне или присутствует формально, внутренне не включаясь. За таким поведением нередко видят лень, тогда как подлинная причина лежит глубже – в области психологии личности.

Масштаб проблемы велик: по данным Всемирной организации здравоохранения, около 80 % подростков 11–17 лет в мире не достигают рекомендованного уровня двигательной активности [13]. При этом доступность спортивной инфраструктуры год от года растёт, а интерес к обязательным занятиям снижается. Это заставляет искать причину не во внешних условиях, а во внутренних препятствиях, мешающих ребёнку принять физическую нагрузку как личное дело.

Такие препятствия принято называть психологическими барьерами. Преодолевать их едиными для всех средствами – общим темпом, общим нормативом, публичной отметкой – чаще всего бесполезно, а то и вредно: давление усиливает сопротивление. Цель статьи – описать природу и основные виды психологических барьеров на занятиях физической культурой и показать, как они преодолеваются средствами личностно-ориентированного подхода, при котором мерой успеха становится не сравнение ученика с другими, а его собственное продвижение.

Понятие психологического барьера в физическом воспитании

В психологии барьер – это внутреннее препятствие, которое останавливает или искажает деятельность человека, несмотря на наличие необходимых возможностей. По Р. Х. Шакурову, барьер двойствен: он не только тормозит активность, но при определённых условиях и мобилизует её, побуждая искать новые способы действия [4]. Сам по себе барьер не зло – опасно его закрепление, превращение разового затруднения в устойчивое избегание.

На занятии барьер проявляется как разрыв между объективной способностью ученика выполнить задание и его субъективной готовностью за него взяться. Школьник, способный сделать кувырок или прыжок через снаряд, отказывается не потому, что не может, а потому, что боится упасть, выглядеть смешным, услышать оценку. Поэтому важно различать физический предел (объективную невозможность) и психологический барьер (субъективный запрет): первый преодолевается тренировкой, второй – изменением отношения к себе.

Эмоциональная сфера в физическом воспитании первична: устойчивое отрицательное переживание способно перечеркнуть любую методически грамотную нагрузку [5]. Поэтому работа с барьерами – это прежде всего работа с переживанием ученика, а не с его мышцами.

Типология психологических барьеров на уроке физической культуры

Психологические барьеры разнородны, и чтобы их преодолевать, удобно различать несколько групп.

Барьеры страха и тревожности. Самая распространённая группа – боязнь травмы, падения, неудачного выполнения элемента и ситуативная тревога перед нормативом или соревнованием [6]. Тревожный ученик заранее настраивается на провал, движения его скованы, что повышает риск ошибки, – складывается замкнутый круг.

Барьеры самооценки и телесности. Особенно остро они проявляются в подростковом возрасте. Стеснение своего тела, страх насмешек, болезненное сравнение себя с более ловкими сверстниками заставляют ученика избегать ситуаций, где он «на виду», – выхода к снаряду, выполнения упражнения перед классом.

Мотивационные барьеры. Они возникают там, где деятельность лишена личного смысла: за формулами «мне это не пригодится» и «я не спортсмен» стоит отсутствие связи между занятием и собственными целями ребёнка. По Л.И. Божович, личностный смысл превращает действие в устойчивый мотив [8], а в логике деятельностного подхода А.Н. Леонтьева побуждение рождается лишь тогда, когда цель приобретает для человека личную ценность [11].

Коммуникативные барьеры. Командные игры и работа в парах предполагают взаимодействие, которое само бывает источником напряжения: страх подвести команду, конфликты, нежелание контакта. Для замкнутого ученика групповое задание сложнее любого норматива.

Барьеры физического дискомфорта и неуверенности в своих силах. Усталость, одышку, непривычные ощущения в теле новичок легко принимает за сигнал «это не для меня» и, не получив вовремя поддержки, закрепляет вывод о собственной несостоятельности.

Существенно, что у одного ученика барьеры переплетены, а внешне одинаковый отказ работать имеет у разных детей разную природу. Отсюда главный вывод: реагировать на них одинаково нельзя.

Личностно-ориентированный подход как основа преодоления барьеров

Если барьер индивидуален, то и средство его преодоления должно быть обращено к конкретной личности. На этом строится личностно-ориентированный подход

И.С. Якиманской, В.В. Серикова, Е.В. Бондаревской [1, 2, 3]: ученик рассматривается не как объект воздействия, а как субъект собственной деятельности – со своим опытом, темпом и системой ценностей. Образование при этом не подгоняет всех под единый эталон, а развивает каждого от его исходного уровня, следует поощрять занятия спортом и физическими нагрузками и включать их в регулярный свой распорядок дня [15].

Для физического воспитания это означает смену точки отсчёта: мерой успеха становится не абсолютный результат, а индивидуальная динамика – то, насколько ребёнок продвинулся относительно себя прежнего. Такой перенос акцента обезоруживает большинство барьеров: исчезает почва для болезненного сравнения, снижается тревога, у слабого ученика появляется достижимый успех.

Опора на личностно-ориентированный подход согласуется с требованием ФГОС обеспечивать индивидуализацию образования и учитывать возрастные и психологические особенности обучающихся [12]. Тем самым преодоление барьеров встраивается в нормативную логику современного образования.

Методы и приёмы преодоления психологических барьеров

Личностно-ориентированный подход реализуется в наборе конкретных, проверяемых прямо на занятии приёмов.

Создание ситуации успеха. Описанный А.С. Белкиным приём – дать каждому ученику пережить на занятии посильное, но реальное достижение [9]. Опираясь на идею Л.С. Выготского о зоне ближайшего развития [10], преподаватель предлагает задание чуть сложнее уже освоенного, но достижимое, и обязательно отмечает результат. Один пережитый успех ослабляет страх сильнее десятка призывов «не бойся».

Индивидуальная образовательная траектория и дифференциация. Один и тот же элемент предлагается в нескольких вариантах сложности, а ученик по возможности сам выбирает посильный. Снижение амплитуды, дополнительная страховка, замена соревнования индивидуальным зачётом снимают давление и оставляют ребёнку чувство контроля.

Безотметочное и критериальное оценивание. Публичная отметка – мощный источник тревоги, поэтому продуктивнее оценивать не результат в сравнении с другими, а понятные ученику критерии: правильность техники, старание, собственный прогресс. Внимание смещается с «кто лучше» на «что я сделал лучше, чем вчера».

Рефлексия и диалог. Короткая беседа в конце занятия – «что сегодня получилось и что было трудно» – помогает ученику осознать продвижение и сделать переживание успеха личным достоянием. Диалогичность вообще составляет ядро личностно-ориентированного подхода [2].

Игровой метод и психологически безопасная среда. В игре ошибка перестаёт быть поводом для осуждения и становится частью процесса. Атмосфера, где неудачу встречают поддержкой, а не насмешкой, разрушает коммуникативные барьеры и барьеры самооценки быстрее любых прямых указаний [5].

Особо значима роль самого педагога: доброжелательная требовательность и личный пример уверенного отношения к нагрузке создают эмоциональный фон, в котором барьеры тают [7].

Критерии результативности и диагностический инструментарий

Чтобы работа с барьерами не оставалась благим намерением, её результат необходимо сделать наблюдаемым. Оценивать его целесообразно по трём группам показателей: эмоциональным (снижение тревожности, готовность браться за новое задание), деятельностным (расширение круга освоенных упражнений, добровольное участие) и мотивационным (устойчивый интерес, перенос активности за пределы урока).

Часть показателей поддаётся прямому учёту – доля детей, добровольно выполняющих усложнённый вариант, число учеников, переставших избегать определённых упражнений, посещаемость физкультурно-массовых мероприятий. Для эмоциональной сферы применимы простые средства: наблюдение, краткие опросники тревожности, беседа. Соотнесение типа барьера, его проявлений и адресных приёмов преодоления удобно представить в виде сводной таблицы (табл. 1).

Таблица 1 – Психологические барьеры на занятиях физической культурой и приёмы их преодоления в рамках личностно-ориентированного подхода

Группа барьеров	Характерные проявления у обучающихся	Приёмы преодоления (личностно-ориентированный подход)
Страха и тревожности	Боязнь травмы и падения, скованность, отказ от сложных элементов, тревога перед нормативом	Ситуация успеха, дополнительная страховка, дробление элемента, разучивание «от простого к сложному»
Самооценки и телесности	Стеснение тела, страх насмешек, избегание действий «на виду», сравнение себя с другими	Безотметочное и критериальное оценивание, оценка по индивидуальной динамике, доброжелательная атмосфера
Мотивационные	«Мне это не пригодится», скука, пассивность, отсутствие личного смысла занятия	Связь задания с интересами и целями ученика, право выбора, рефлексия достижений
Коммуникативные	Страх подвести команду, конфликты, нежелание взаимодействия в паре	Игровой метод, постепенное включение в групповую работу, чёткие и справедливые правила
Физического дискомфорта и неуверенности	Усталость, одышка, истолкование нагрузки как «это не для меня»	Индивидуальный темп и дозирование нагрузки, поддержка новичка, опора на зону ближайшего развития

Такая таблица превращает разрозненные находки в систему: для каждого типичного затруднения у преподавателя есть согласованный с подходом ответ и ориентир, по которому видно, преодолён барьер или нет.

Заключение

Психологические барьеры – страх, тревога, неуверенность, отсутствие личного смысла – одна из главных, хотя и неочевидных причин снижения активности обучающихся на занятиях физической культурой. Бороться с ними средствами унификации (единый норматив, публичная отметка, давление) бесполезно: именно сравнение и оценка лежат в основе большинства барьеров.

Личностно-ориентированный подход предлагает иной путь – перенести меру успеха на индивидуальную динамику ученика и выстроить занятие так, чтобы каждый пережил посильное достижение, регулярные физические упражнения могут помочь укрепить психическое здоровье, повысить самооценку, развить коммуникативные навыки, концентрацию внимания и эмоциональную стабильность [16].

Реализуемый через ситуацию успеха, дифференциацию, критериальное оценивание, рефлексию и игровой метод, он снимает барьеры один за другим. Подкреплённая измеримыми ориентирами, физическая культура перестаёт быть источником тревоги и становится пространством уверенности и радости движения, а с ним – и потребности вести здоровый образ жизни [14].

Литература

1. Якиманская И.С. Личностно-ориентированное обучение в современной школе. – М. : Сентябрь. 2000. – 112 с.
2. Сериков В.В. Личностно-развивающее образование: идеи и реальность // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2018. – № 4(127). – С. 4–11.
3. Бондаревская Е.В. Теория и практика личностно-ориентированного образования. – Ростов-н/Д. : Изд-во Ростовского пед. ун-та, 2000. – 352 с.
4. Шакуров Р.Х. Барьер как категория и его роль в деятельности // Вопросы психологии. – 2001. – № 1. – С. 3–18.
5. Ильин Е.П. Психология физического воспитания : учеб. пособие. – 2-е изд. – СПб. : Питер. 2018. – 464 с.
6. Гогунов Е.Н. Психология физического воспитания и спорта : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / Е.Н. Гогунов, Б.И. Мартьянов. – М. : Академия, 2004. – 224 с.
7. Горбунов Г.Д. Психопедагогика спорта. – 4-е изд. – М. : Советский спорт, 2014. – 312 с.
8. Божович Л.И. Личность и её формирование в детском возрасте. – СПб. : Питер, 2008. – 400 с.

9. Белкин А.С. Ситуация успеха. Как её создать : книга для учителя. – М. : Просвещение, 1991. – 176 с.
10. Выготский Л.С. Педагогическая психология / Л.С. Выготский; Под ред. В.В. Давыдова. – М. : АСТ; Астрель, 2010. – 671 с.
11. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – М. : Смысл; Академия, 2005. – 352 с.
12. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования: приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 287.
13. World Health Organization. Physical activity. Geneva: World Health Organization. – 2024.
14. Еременко В.Н. Роль физической культуры в жизни человека / В.Н. Еременко, А.С. Медведева, А.А. Левченко // Аллея науки. – 2019. – Т. 8. – № 3(28). – С. 353–355.
15. Питкин В.А. Физическая культура как способ преодоления стресса у студентов // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2023. – Т. 12. – № 3(44). – С. 75–77.
16. Питкин В.А. Влияние физической культуры на психологическое и эмоциональное развитие детей / В.А. Питкин, М.Р. Костенко, Л.А. Холодная // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 253–254.

References

1. Yakimanskaya I.S. Person-Oriented Learning in the Modern School. – M. : Sentyabr, 2000. – 112 p.
2. Serikov V.V. Personality-Developing Education: Ideas and Reality. Bulletin of Volgograd State Pedagogical University. – 2018. – № 4(127). – P. 4–11.
3. Bondarevskaya E. V. Theory and Practice of Person-Oriented Education. Rostov-on/D. : Rostov Pedagogical University Press, 2000. – 352 P.
4. Shakurov R.Kh. The Barrier as a Category and Its Role in Activity // ssues in Psychology. – 2001. – № 1. – P. 3–18.
5. Ilyin E.P. Psychology of Physical Education : textbook. – 2nd ed. – SPb. : Piter. 2018. – 464 p.
6. Gogunov E.N. Psychology of Physical Education and Sport : textbook for Higher Education Students / E.N. Gogunov, B.I. Martyanov. – M. : Akademiya, 2004. – 224 p.
7. Gorbunov G.D. Psychopedagogy of Sport. – 4th ed. – M. : Sovetsky Sport, 2014. – 312 p.
8. Bozhovich L.I. Personality and Its Formation in Childhood. – SPb. : Piter, 2008. – 400 p.
9. Belkin A.S. The Situation of Success: How to Create It (A Book for Teachers). – M. : Prosveshcheniye, 1991. – 176 p.
10. Vygotsky L.S. Pedagogical Psychology / L.S. Vygotsky; Ed. by V.V. Davydov. – M. : AST; Astrel, 2010. – 671 p.
11. Leontiev A.N. Activity. Consciousness. Personality. – M. : Smysl; Akademiya, 2005. – 352 p.
12. On the Approval of the Federal State Educational Standard for Basic General Education: Order of the Ministry of Education of the Russian Federation № 287 dated May 31. 2021.
13. World Health Organization. Physical activity. Geneva: World Health Organization. 2024.
14. Eremenko V.N. The role of physical culture in human life / V.N. Eremenko, A.S. Medvedeva, Levchenko A.A. // Alleya Nauki. – 2019. – Vol. 8. – № 3(28). – P. 353–355.
15. Pitkin V.A. Physical culture as a means of overcoming stress among students // Research Focus: Pedagogy and Psychology. – 2023. – Vol. 12. – № 3(44). – P. 75–77.
16. Pitkin V.A. The influence of physical culture on the psychological and emotional development of children / V.A. Pitkin, M.R. Kostenko, L.A. Kholodnaya // Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Polytechnical Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 253–254.

УДК 004.9+02

НАВИГАЦИОННЫЙ ГРАФ И ГЕЙМИФИКАЦИЯ В БИБЛИОТЕКЕ

♦♦♦♦♦

NAVIGATION GRAPH AND GAMIFICATION IN THE LIBRARY

Трифонова Арина Сергеевна
студентка,
Краснодарский государственный институт культуры

Папиашвили Елизавета Нодариевна
студентка,
Краснодарский государственный институт культуры

Багдасарян Рафаэль Хачикович
доцент кафедры информационно-библиотечной деятельности и документоведения,
Краснодарский государственный институт культуры

Аннотация. В статье рассматривается доступный способ преобразования обычного пространства в современный интерактивный культурный центр без масштабной и дорогостоящей реконструкции. Основная идея заключается во внедрении игровой навигации, которая функционирует через смартфоны посетителей и основывается на концепции виртуального графа. Подобный подход рассматривает физическую библиотеку как «движок» игры, где путь между стеллажами задается не стенами, а логическими квестами, викторинами и заданиями с дополненной реальностью.

Ключевые слова: геймификация, навигация, виртуальный граф, цифровая среда, квест, мотивация, современный читатель, культурный центр, модернизация.

Trifonova Arina Sergeevna
Student,
Krasnodar State Institute of Culture

Papiashvili Elizaveta Nodarievna
Student,
Krasnodar State Institute of Culture

Bagdasaryan Rafael Khachikovich
Associate Professor of the Department of Information and Library Activities and Documentation Studies,
Krasnodar State Institute of Culture

Annotation. The article examines an accessible way to transform an ordinary space into a modern interactive cultural center without large-scale and costly reconstruction. The main idea is to introduce game-based navigation that works via visitors' smartphones and is based on the concept of a virtual graph. This approach treats the physical library as a «game engine», where the path between the shelves is determined not by walls, but by logical quests, quizzes, and tasks with augmented reality.

Keywords: gamification, navigation, virtual graph, digital environment, quest, motivation, modern reader, cultural center, modernization.

Привычная для всех библиотека все еще связана у большинства людей с тишиной, какими-то правилами, скукой и с вероятностью потеряться среди стеллажей и книжных полок. Однако же, нынешняя библиотечное пространство понемногу переходит из простого склада книг в интерактивный культурный центр. Для того, чтобы вовлечь новые лица – онлайн поколение, которое привыкло к различным видеоиграм, интернету и в целом к цифровой среде – библиотекам недостаточно просто обновлять фонды и проводить обычные массовые мероприятия [2]. Требуется поменять допустимые формы контакта с пространством. Один из возможных продуктивных инструментов для этого – геймификация навигации через концепцию виртуального графа.

Физическая модернизация библиотеки – это довольно дорого и медленно. Перепроектирование залов, приобретение интерактивных досок, внедрение сенсорной системы требуют большого бюджета и состыкований. Виртуальный же ярус, наоборот, можно вместить на уже существующем пространстве почти независимо от внешних вмешательств в него [1].

Телефон пользователя станет окошком в данный ярус, а сама библиотека – «физическим движком» игры. Собственно этот «движок» и делает идею реальной для многих библиотек с небольшим финансированием.

Геймификация – это не разработка самой игры в чистом виде, а внедрение игровых механик в неигровую деятельность: навигацию по фонду, поиск книги, ориентацию в пространстве, знакомство с каталогом [6]. Она выполняет практическую функцию, но делает ее в увлекательной для игры форме, за утилитарным наполнением скрыта оболочка, которая разогревает интерес.

Однако геймификация не должна заменить традиционное чтение игрой. Ее задача – снять потенциальную неприязнь, сопротивление или так называемый психологический барьер, который отпугивает пользователей от библиотеки.

Большинство потенциальный пользователей библиотеки не приходят, не потому что не любят или в принципе не хотят читать, а скорее всего, потому что не понимают как устроено пространство и с чего начать. Тут геймификация будет работать как «дружелюбный работник» в незнакомой обстановке, она расскажет про структуру фонда, через действия, а не через инструкцию.

В основе геймификации лежат несколько базовых психологических процессов, каждый из них направлен на раскрытие потенциала библиотеки.

Эпический смысл и призвание – этот механизм заставляет пользователя чувствовать себя частью чего-то большего. В библиотеке пользователь может не просто искать книгу, а, допустим, «спасать культурное наследие» или же принимать участие в проекте по оцифровке редких изданий [5]. Развитие и достижение – это продвижение путем прохождения через уровни, наработку очков и путь через различные открытые зоны. Именно этот процесс, механизм дает поддержку в моменте, когда результаты поиска еще не ясны. Рядом с развитием и достижением стоит расширение прав и креативность. Это возможность всячески влиять на процессы и получать обратную связь через квесты, списки и отзывы. На все это накладывается собственность и обладание, это книжные полки, накопленные знания, коллекции и т.д. Далее в эту игру входит социальное влияние и причастность, это различные таблицы с заданиями, лидерами, достижениями и возможность соревноваться с другими пользователями библиотеки. Непредсказуемость и любопытство дают интригу, случайные награды, сюжетные повороты и неожиданные подсказки, все эти моменты подогревают интерес. Завершает круг потеря и избегание – нежелание упустить возможность или потерять пройденный путь, потереть прогресс [8].

Все перечисленные процессы взаимосвязаны друг с другом, здесь польза скрыта под яркой упаковкой, а цель достигается через игру.

В традиционной разработке игр – навигационный граф (NavMesh), это скрытая связка узлов и ребер, она определяет пути перемещения персонажа, где ему можно пройти, а где это сделать невозможно. Если говорить в контексте библиотеки, то данное определение становится каркасом для новых взаимодействий с пространством.

Еще один ключевой момент, это отвязка навигации от физического пространства библиотеки. В классической библиотеке путь пользователя прописаны стенами, стеллажами и проходами, в виртуальном графе путь пользователя будет задаваться через логические задания, квесты, этапы. Благодаря этому одно и то же пространство будет работать по-разному для разных пользователей, сценариев без перестановки.

Узлы в этой системе не просто «пункт В», «стеллаж 9», они становятся полноценными игровыми процессами с дополненной реальностью и интерактивными локациями. Любое место в библиотеке может нести в себе какое-то задание с выбором решений и получениями наград. Пользователь будет ориентироваться уже не по самим стеллажам, а по опыту и воспоминаниям. Так складывается совершенно новый тип навигации, который сделает библиотеку «живой» [10].

Рёбра графа являются условиями перехода между узлами, то есть это связи между элементами игры. Они показывают какие действия возможны на данном этапе, какие условия нужно выбрать для прохождения на следующий уровень и как устроены взаимодействия в мире игры. Чтобы «открыть» последующий шаг, необходимо выполнить задание, например решить головоломку, найти книгу, ответить на вопрос игры, обнаружить визуальный маркер, прочитать фрагмент текста. Подобный подход можно рассматривать как мягкое вовлечение читателя в пространство библиотеки. Движение человека по учреждению из механического превращается в мотивированное: читатель перемещается не потому, что так «правильно», а потому, что «заслужил» право двигаться дальше в ходе игры. Каждое условие – это заранее обдуманный вариант по работе с библиотекой: как читать шифры, пользоваться каталогом, находить нужные разделы [4].

Самое ощутимое преимущество виртуального графа – его многоэтапность. Каждый проход между стеллажами ведет в совершенно непохожие сюжетные линии в зависимости от выбранного «класса»: «Детектив» идёт по цепочке логических загадок, «Исследователь времени» собирает исторические факты, «Хранитель тайн» ищет ред-

кие издания. Библиотечное учреждение не меняет ни оной книжной полки, но предлагает множество разных маршрутов: детский квест, краеведческий, научно-популярный, литературный. Каждый поход за литературой может быть отличен от предыдущего – читатель не просто приходит за книгой, а выбирает приключение, которое резонирует с его интересами.

В основе всего граф устроен как игровая система: точка входа, развилки, тупики, короткие и длинные маршруты. Визуализация прогресса превращает пространство библиотеки в понятную игровую структуру. Постепенное открытие карты снимает у игрока чувство страха перед стеллажами, превращая бесконечный лабиринт в упорядоченную систему. Нейтральное пространство не запоминается, а пространство с историей – да, и читатель начинает строить личные отношения с местами. Так библиотека становится не хранилищем книг, а пространством личных открытий.

Каждый узел графа задаёт ритм игры: напряжение, усилие, разрядка, новый цикл. В библиотеке такой ритм меняет допустимо муторные действия поиска книги в серию маленьких побед, каждая из которых – небольшой всплеск дофамина, поддерживающий интерес и ведущий к книге. Ребро как условие прогресса делает навигацию не «пройди по коридору», а «заслужи право двигаться дальше». Варианты направлений дают игроку ощущение, что маршрут – его личный и осознанный выбор, а не заранее спрограммированная линейка, и библиотечное учреждение раскрывается перед каждым по-разному [3].

Ощутимый рост – очки опыта, уровни, коллекции, титулы – мотивирует вернуться в игру, ведь граф всегда имеет неисследованные ветки. А накопленный опыт игрока библиотека может использовать для персональных рекомендаций и стать местом, где знают и ценят каждого пользователя. Динамическая сложность адаптирует граф под конкретного игрока: застрял – упрощает подсказку, идёт быстро – предлагает челлендж, проявляет интерес – приоткрывает связанные узлы. Это то, чего не хватает традиционной навигации с одинаковыми для всех указателями. И наконец, командные механики очевидно изменяют имидж библиотеки: это уже не место обособленного изучения литературы, а место привлекательное для компании, семьи, оно обозначается теперь как место совместной деятельности – и становится центром сообщества [7].

Навигационный граф с элементами геймификации – это не попытка превратить библиотеку в видеоигру, а способ сделать её пространство понятным и притягательным для современного читателя. Подобная структура уменьшает тревогу перед большим массивом фондов и сложностью навигации, и превращает поиск литературы в продуманное и осознанное приключение: пользователь не теряется среди стеллажей, а направляется по выстроенному маршруту, шаг за шагом изучая особую логику учреждения и неощутимо для себя приобретая необходимые навыки. Однако в этой системе библиотека не теряет своей сути – она по-прежнему остаётся важным источником информации, при этом становится более открытой, индивидуальной и динамичной: каждый читатель находит свой маршрут, а пространство библиотеки обретает личные смыслы и запоминается не сухими обозначениями, а эмоциями и маленькими победами [9]. В итоге геймифицированный граф не препятствует чтения, а постепенно подводит к нему, показывая библиотеку как современный культурный и информационный центр, где комфортно и интересно каждому.

Литература

1. Багдасарян Р.Х. Инновационные формы работы библиотек как способ привлечения читателей / Р.Х. Багдасарян, В.Д. Эберт // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей LVI Междунар. научно-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. – С. 300–302. – Электрон. копия доступна на сайте «Наука и Просвещение». – URL : https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2022/05/MK-1397.pdf (дата обращения 09.09.2026).
2. Багдасарян Р.Х. Информационные технологии в современной культуре и искусстве: трансформация и новые формы / Р.Х. Багдасарян, А.С. Матвеева // Казанская наука. – 2025. – № 1. – С. 94–97.

3. Багдасарян Р.Х. Применение искусственного интеллекта в социально-культурной сфере: проблемы и перспективы / Р.Х. Багдасарян, О.В. Панфилова, А.В. Хайбулов // Культура и время перемен. – 2022. – № 1(36). – URL : timekguki.esrae.ru/52-724 (дата обращения 03.09.2026).
4. Багдасарян Р.Х. Современное состояние и роль искусственного интеллекта в сфере туризма / Р.Х. Багдасарян, М.А. Решетова // Культура и время перемен. – 2022. – № 2(37). – URL : timekguki.esrae.ru/53-748 (дата обращения 05.09.2026).
5. Багдасарян Р.Х. Формирование цифровой культуры специалистов библиотечно-информационной сферы / Р.Х. Багдасарян, А.С. Матвеева; Краснодарский государственный институт культуры. – Краснодар : Краснодарский государственный институт культуры, 2023. – 161 с. – URL : https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=709503 (дата обращения 05.09.2026). – С. 120–128. ISBN 978-5-94825-521-7
6. Багдасарян Р.Х. Vr и Ar-тренды в образовании / Р.Х. Багдасарян, Е.А. Горбатко // Культура и время перемен. – 2022. – № 3(38). – URL : timekguki.esrae.ru/55-753 (дата обращения 11.09.2026).
7. Воронцова Г.В. Психолого-педагогические навыки, приобретаемые в процессе использования интерактивных методов обучения / Г.В. Воронцова, Д.Г. Андрющенко // Экономика и социум. – 2015. – № 2-1(15). – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/psihologo-pedagogicheskie-navyki-priobretaemye-v-protsesse-ispolzovaniya-interaktivnyh-metodov-obucheniya (дата обращения 03.09.2026).
8. Куровский С.В. Развитие библиотек как «третьего места» с использованием геймификации в Пермском крае / С.В. Куровский, Д.А. Мишин, Е.М. Пашов // Экономика строительства. – 2023. – № 7. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bibliotek-kak-tretiego-mesta-s-ispolzovaniem-geymifikatsii-v-permskom-krae (дата обращения 17.09.2026).
9. Технологии искусственного интеллекта в сфере культуры и искусства коллективная монография / Р.Х. Багдасарян [и др.]. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2025. – 162 с. ISBN 978-5-91718-782-2
10. Трифонова А.С. Иммерсивные технологии в библиотеках / А.С. Трифонова, Е.Н. Папиашвили, Р.Х. Багдасарян // Наука. Техника. Технологии (политехнических вестник). – 2026. – № 1. – С. 119–123. – URL : https://id-yug.com/images/id-yug/SET/2026/1/2309-3250-2026-1-119-123.pdf (дата обращения 29.09.2026).

References

1. Bagdasaryan R.Kh. Innovative Forms of Library Work as a Means of Attracting Readers / R.Kh. Bagdasaryan, V.D. Ebert // Fundamental and Applied Scientific Research: Current Issues, Achievements, and Innovations: Collection of Articles from the 56th International Scientific and Practical Conference. – Penza : ICSR «Science and Education». – 2022. – P. 300–302. – Electronic copy available on the «Science and Education» website. – URL : https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2022/05/MK-1397.pdf (date of application 09.09.2026).
2. Bagdasaryan R.Kh. Information Technologies in Modern Culture and Art: Transformation and New Forms / R.Kh. Bagdasaryan, A.S. Matveyeva // Kazanskaya Nauka (Kazan Science). – 2025. – № 1. – P. 94–97.
3. Bagdasaryan R.Kh. The Application of Artificial Intelligence in the Socio-Cultural Sphere: Challenges and Prospects / R.Kh. Bagdasaryan, O.V. Panfilova, A.V. Khaibulov // Culture and the Time of Change. – 2022. – № 1(36). – URL : timekguki.esrae.ru/52-724 (date of application 03.09.2026).
4. Bagdasaryan R.Kh. The Current State and Role of Artificial Intelligence in the Tourism Sector / R.Kh. Bagdasaryan, M.A. Reshetova // Culture and the Time of Change. – 2022. – № 2(37). – URL : timekguki.esrae.ru/53-748 (date of application 05.09.2026).
5. Bagdasaryan R.Kh. Formation of Digital Culture Among Library and Information Professionals / R.Kh. Bagdasaryan, A.S. Matveeva; Krasnodar State Institute of Culture. – Krasnodar: Krasnodar State Institute of Culture, 2023. – 161 p. – URL : https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=709503 ISBN 978-5-94825-521-7 (date of application 05.09.2026).
6. Bagdasaryan R.Kh. VR and AR Trends in Education / R.Kh. Bagdasaryan, E.A. Gorbatko // Culture and Time of Change (Kultura i vremya peremen). – 2022. – № 3(38). – URL : timekguki.esrae.ru/55-753 (date of application 11.09.2026).
7. Vorontsova G.V. Psychological and pedagogical skills acquired through the use of interactive teaching methods / G.V. Vorontsova, D.G. Andryushchenko // Economy and Society. – 2015. – № 2-1(15). – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/psihologo-pedagogicheskie-navyki-priob re-

taemye-v-protsesse-ispolzovaniya-interaktivnyh-metodov-obucheniya (date of application 03.09.2026).
8. Kurovsky S.V. Development of libraries as a «third place» using gamification in the Perm Territory / S.V. Kurovsky, D.A. Mishin, E.M. Pashov // Construction Economics. – 2023. – № 7. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-bibliotek-kak-tretiego-mesta-s-ispolzovaniem-geymifikatsii-v-permskom-krae (date of application 17.09.2026).
9. Artificial Intelligence Technologies in the Sphere of Culture and the Arts: A Collective Monograph / R.Kh. Bagdasaryan [et al.]. – Krasnodar : Izdatelskiy Dom – Yug, 2025. – 162 p. ISBN 978-5-91718-782-2
10. Trifonova A.S. Immersive Technologies in Libraries / A.S. Trifonova, E.N. Papiashvili, R.Kh. Bagdasaryan // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2026. – № 1. – P. 119–123. – URL : https://id-yug.com/images/id-yug/SET/2026/1/2309-3250-2026-1-119-123.pdf (date of application 29.09.2026).

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 2026 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	30 декабря

Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУЧНЫЙ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ЖУРНАЛ

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ
(политехнический вестник)

2026, № 3

SCIENTIFIC MULTIDISCIPLINARY MAGAZINE

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY

(polytechnical bulletin)

2026, № 3

https://id-yug.com/

Редактор – О.Я. Фоменко

Оригинал-макет – М.Н. Гусева

Дизайн обложки – О.Я. Фоменко

Сдано в набор 30.09.2026.
Подписано в печать 14.10.2026.
Дата выхода в свет 15.10.2026.
Формат 60 x $84^1/_8$.
Бумага офсетная.
Печать riso.
Уч.-изд. л. 14,34
Тираж 500 экз.

Цена договорная

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»
Россия, 350072, г. Краснодар,
ул. Зиповская 9, литер «Г», оф. 41/3

Заказ № 2706

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 30.09.2026.
It is sent for the press 14.10.2026.
Release date 15.10.2026.
Format 60 x $84^1/_8$.
Offset paper.
Riso press.
Ed.-prod. l. 14,34
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 № 2706

Ph.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id-yug@ id-yug.com
Site: https://id-yug.com