

**НАУКА. ТЕХНИКА.
ТЕХНОЛОГИИ**
(политехнический вестник)

**SCIENCE. ENGINEERING.
TECHNOLOGY**
(polytechnical bulletin)

№ 3

2019

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ

(политехнический вестник)

2019, № 3

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

www.id-yug.com

Основан в 2013 г.

ISSN 2309-3250 (print)

ISSN 2309-3269 (on-line)

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ № ФС77-53093 от 07 марта 2013 г.

Эл № ФС77-53092 от 07 марта 2013 г.

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

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY

(polytechnical bulletin)

2019, № 3

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

www.id-yug.com

It is founded in 2013.

ISSN 2309-3250 (print)

ISSN 2309-3269 (on-line)

Certificate on registration of mass media:

ПИ № ФС77-53093 of March 07, 2013.

Эл № ФС77-53092 of March 07, 2013.

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,

академик Инженерной академии РФ, доктор технических наук, профессор, Почетный работник высшего образования РФ, Заслуженный машиностроитель Кубани, Заслуженный деятель науки Республики Адыгея, заместитель председателя методической комиссии Министерства образования и науки РФ по деталям машин, основам конструирования, технической и прикладной механике, член учебно-методического объединения по подъемно-транспортным машинам и оборудованию в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, член экспертно-консультативного совета по вопросам промышленности, строительства и жилищно-коммунального хозяйства, председатель комиссии по промышленности Законодательного Собрания Краснодарского края, действительный член Российской Академии продовольственной безопасности, главный редактор журнала «Наука. Техника. Технологии» (политехнический вестник), член ООО «Союз машиностроителей России».

BEREZHNOY Sergey Borisovich,

The academician of Engineering academy of the Russian Federation, the Doctor of Engineering, professor, the Honorary worker of the higher education of the Russian Federation, the Honored mechanician of Kuban, the Honored worker of science of the Republic of Adygea, the vice-chairman of the methodical commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation on details of machines, to constructioning bases, technical and application-oriented mechanics, the member uchebno-methodical combining on podjemno-transport vehicles and the equipment in Bauman Moscow State Technical University, the member of the expert advisory board concerning the industry, construction and housing and communal services farms, the chairman of the commission on the industry of Legislative Assembly of Krasnodar Krai, the full member of the Russian Academy of food security, the editor-in-chief of log Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin), member of LLC Russian Engineering Union.

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

КАСЬЯНОВ Геннадий Иванович,

Заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ, заслуженный деятель науки Кубани, академик Российской инженерной академии, академик Российской академии продовольственной безопасности, профессор кафедры технологии продуктов питания животного происхождения (КубГТУ).

KASYANOV Gennady Ivanovich,

Honored worker of science of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, honored worker of science of Kuban, academician of the Russian engineering academy, academician of the Russian academy of food security, professor of chair of technology of food of an animal origin (KubSTU).

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».

АНТОНИАДИ Дмитрий Георгиевич,

действительный член Российской академии естественных наук, доктор технических наук, профессор, директор института нефти, газа и энергетики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ), заведующий кафедрой нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна КубГТУ.

ANTONIADI Dmitry Georgiyevich,

Full member of the Russian academy of natural sciences, Doctor of Engineering, Professor, Director of institute of oil, gas and power of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU), Head of the department of oil and gas business of a name professor G.T. Vartumyan (KubSTU).

АТРОЩЕНКО Валерий Александрович,

член-корреспондент Российской академии естествознания, доктор технических наук, профессор, декан факультета компьютерных технологий и автоматизированных систем, заведующий кафедрой информатики и вычислительных систем ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

ATROSHCHENKO Valery Aleksandrovich,

Corresponding member of the Russian academy of natural sciences, Doctor of Engineering, Professor, Dean of faculty of computer technologies and the automated systems, Head of the department of informatics and computing systems of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

БАБУШКИН Виктор Михайлович,

член-корреспондент академии аграрного образования, член-корреспондент Международной академии аграрного образования, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры кадастра и мониторинга земель ФГБОУ ВО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (НГМА).

BABUSHKIN Victor Mikhaylovich,

Corresponding member of academy of agrarian education, Corresponding member of the International academy of agrarian education, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of chair of the inventory and monitoring of lands of federal public budgetary educational institution of higher education «Novocherkassk state meliorative academy» (NSMA).

БЛЕДНОВА Жесфина Михайловна,

Федеральный эксперт научно технической сферы, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой динамики и прочности машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

BLEDNOVA Zhesfina Mikhaelovna,

Federal expert of scientifically technical sphere, Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of dynamics and durability of cars of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

ГЛАДИЛИН Александр Васильевич,

член-корреспондент Российской академии естественных наук, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и технологии управления Института экономики и управления ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (СКФУ).

GLADILIN Alexander Vasilyevich,

Corresponding member of the Russian academy of natural sciences, Doctor of Economics, Professor, Professor of department of economy and technology of management of Institute of economy and management of federal public autonomous educational institution of higher education «North Caucasian federal university» (NCFU).

ДОМБРОВСКИЙ Александр Николаевич,

академик Российской академии транспорта, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры организации перевозок и дорожного движения ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ), вице-президент банка «Акрополь».

DOMBROVSKY Alexander Nikolaevich,

Academician of the Russian academy of transport, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of chair of the organization of transportations and traffic of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU), Vice-president of Akropol bank.

КАЗЕЕВ Камил Шагидуллович,

кандидат биологических наук, доктор географических наук, профессор, профессор кафедры экологии и природопользования факультета биологических наук ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ).

KAZEEV Kamil Shagidulovich,

Candidate of Biology, Doctor of geographical sciences, Professor, Professor of department of ecology and environmental management of faculty of biological sciences of federal public autonomous educational institution of higher education «Southern federal university» (SFU).

КОЛЕСНИКОВ Сергей Ильич,

кандидат географических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования факультета биологических наук ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ).

KOLESNIKOV Sergey Ilyich,

Candidate of geographical sciences, Doctor of agricultural sciences, Professor, Head of the department of ecology and environmental management of faculty of biological sciences of federal public autonomous educational institution of higher education «Southern federal university» (SFU).

КОРЕНА Елена Павловна,

член-корреспондент Международной академии высшей школы, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной и инновационной деятельности государственного научного учреждения «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Российской академии сельскохозяйственных наук» (ГНУ КНИИХП Россельхозакадемии).

KORNENA Elena Pavlovna,

Corresponding member of the International academy of the higher school, Doctor of Engineering, Professor, Deputy director for scientific and innovative activity of the public scientific institution «Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Production of the Russian Academy of Agricultural Sciences» (PSI KRISP Rosselkhozakademii).

МОСКВИЧ Вадим Константинович,

Кандидат технических наук, профессор кафедры транспортных сооружений ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ), декан факультета автомобильно-дорожных и кадастровых систем ФГБОУ ВО КубГТУ.

MOSKVICH Vadim Konstantinovich,

Candidate of Technical Sciences, Professor of chair of transport constructions of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU), Dean of faculty of automobile and road and cadastral systems.

ПОЛИДИ Александр Анатольевич,

член международного альянса бизнес-консультантов Восточной Европы, бизнес-тренер Академии менеджмента Нижней Саксонии, доктор экономических наук, профессор, заслуженный экономист Кубани, профессор кафедры экономики и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

POLIDI Alexander Anatolyevich,

Member of the International Alliance of Business Consultants of Eastern Europe, Business coach of Academy of management of Lower Saxony, Doctor of Economics, Professor, Honored economist of Kuban, Professor of department of economy and financial management of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

САВЕНОК Ольга Вадимовна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Лауреат премии администрации Краснодарского края в области образования за 2015 год.

SAVENOK Olga Vadimovna

Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of department of Oil and gas business of a name of professor G.T. Vartumyan FGBOU VO «Kuban state technological university», Winner of an award of administration of Krasnodar Krai in the field of education for 2015.

СИМАНКОВ Владимир Сергеевич,

действительный член Международной академии наук прикладной радиоэлектроники, член Южной секции содействия развитию экономической науки отделения экономики РАН, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ), научный руководитель НТЦ РАН.

SIMANKOV Vladimir Sergeyevich,

Full Member of the International academy of Sciences of applied radio electronics, Member of the Southern section of assistance to development of economic science of office of economy of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Professor of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU), Research Supervisor of scientific and technological center of the Russian Academy of Sciences (STC RAS).

СМЕЛЯГИН Анатолий Игоревич,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

SMELYAGIN Anatoly Igorevich,

Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of theoretical mechanics of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

СТРЕЛЬНИКОВ Виктор Владимирович,

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет» (КубГАУ), координатор международной экологической программы ТЕМПУС – STREAM по теме «Совершенствование системы экологического образования с элементами ОВОС и экологического менеджмента в России».

STRELNIKOV Victor Vladimirovich,

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the department of applied ecology of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state agricultural university» (KubSAU), the coordinator of the international ecological program TEMPUS – STREAM on the subject «Improvement of System of Ecological Education with the AIE Elements and Ecological Management in Russia».

ТРУФЛЯК Евгений Владимирович,

доктор технических наук, профессор кафедры процессов и машин в агробизнесе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет» (КубГАУ), начальник управления науки и инноваций КубГАУ.

TRUFLYAK Evgeny Vladimirovich,

Doctor of Engineering, Professor of chair of processes and cars in agrobusiness of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state agricultural university» (KubSAU), Head of department of science and innovations of KubSAU.

ТУЛЕШОВ Амандык Куатович,

академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, академик Проектной академии «KAZGOR», член-корреспондент Академии наук высшей школы Казахстана, действительный член Международной инженерной академии, доктор технических наук, профессор, заместитель председателя комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

TULESHOV Amandyk Kuatovich,

Academician of National engineering academy of the Republic of Kazakhstan, Academician of Design academy «KAZGOR», Corresponding Member of Academy of Sciences of the higher school of Kazakhstan, Full Member of the International engineering academy, Doctor of Engineering, Professor, Vice-chairman of committee of science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

УРТЕНОВ Махамет Али Хусеевич,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (КубГУ).

URTENOV Makhamet Ali Huseevich,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the department of applied mathematics of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state university» (KubSU).

УСАТИКОВ Сергей Васильевич,

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей математики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

USATIKOV Sergey Vasilyevich,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of department of the general mathematics of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

ЧЕРНЫХ Анатолий Иосифович,

кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры философии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

CHERNYKH Anatoly Iosifovich,

Candidate of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of department of philosophy of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

ЧЕШЕВ Анатолий Степанович,

академик Российской академии естественных наук, академик Академии аграрного образования, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики природопользования и кадастра ФГБОУ ВО Ростовский Государственный строительный университет (РГСУ).

CHESHEV Anatoly Stepanovich,

Academician of the Russian academy of natural sciences, Academician of Academy of agrarian education, Doctor of Economics, Professor, Head of the department of economy of environmental management and inventory of federal public budgetary educational institution of higher education «Rostov state construction university» (RSCU).

ШАЗЗО Аслан Юсуфович,

действительный член Международной академии энергоинформационных наук, член-корреспондент Международной академии промышленной экологии, доктор технических наук, профессор, директор Института пищевой и перерабатывающей промышленности (ИПиПП) (КубГТУ).

SHAZZO Aslan Yusufovich,

Full Member of the International academy of power information sciences, Corresponding Member of the International academy of industrial ecology, Doctor of Engineering, Professor, Director of Institute of food and processing industry (IFPI) (KubSTU).

ШАЗЗО Рамазан Измаилович,

академик Международной академии холода, член-корреспондент Российской академии сельскохозяйственных наук, доктор технических наук, профессор.

SHAZZO Ramazan Izmailovich,

Academician of the International academy of cold, Corresponding Member of the Russian academy of agricultural sciences, Doctor of Engineering, Professor.

ШАПОШНИКОВА Татьяна Леонидовна,

кандидат физико-математических наук, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

SHAPOSHNIKOVA Tatyana Leonidovna,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the department of physics of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

ЯСЬЯН Юрий Павлович,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии нефти и газа ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (КубГТУ).

YASYAN Yury Pavlovich,

Doctor of Engineering, Professor, Head of the department of technology of oil and gas of federal public budgetary educational institution of higher education «Kuban state technological university» (KubSTU).

УЧРЕДИТЕЛЬ

ООО «Издательский Дом — Юг»

FOUNDER

JSC «Publishing House — South»

**АДРЕС РЕДАКЦИИ И
ИЗДАТЕЛЯ:**

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

**ADDRESS OF EDITION
AND PUBLISHER:**

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

ЗАВЕДУЮЩИЙ РЕДАКЦИЕЙ

Фоменко Ирина Ивановна
Тел.: +7(918) 41-50-571

MANAGER OF EDITION

Fomenko Irina Ivanovna
Ph.: +7(918) 41-50-571

e-mail: id.yug2016@gmail.com, set@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.yug2016@gmail.com, set@id-yug.com

www.id-yug.com

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

ОТРАСЛЕВЫЕ НАУЧНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ BRANCH SCIENTIFIC AND APPLIED RESEARCHES

Физико-математические науки Physical and mathematical sciences

Смелягин А.И.

Законы и понятия классической механики 21

Smelyagin A.I.

Laws and concepts of classical mechanics

Науки о земле

Sciences about the earth

Савенок О.В., Демченко А.В.

Построение цифровых моделей Георгиевского месторождения с целью анализа текущей выработки запасов нефти и обоснования мероприятий по достижению проектного коэффициента нефтеизвлечения 28

Savenok O.V., Demchenko A.V.

Creation of digital models of the Georgievskoye field in order to analyze the current development of oil reserves and substantiate measures to achieve the design oil recovery factor

Савенок О.В., Демченко А.В.

Анализ текущего состояния и обоснование рекомендаций по доработке Георгиевского месторождения 43

Savenok O.V., Demchenko A.V.

Analysis of the current state and substantiation of recommendations for the additional development of the Georgievskoye field

Петрушин Е.О., Арутюнян А.С.

Обработка призабойной зоны пласта с целью увеличения производительности скважин на Талаканском месторождении 61

Petrushin E.O., Arutyunyan A.S.

Bottomhole zone treatment to increase well productivity on the Talakanskoye field

Дердуга А.В.

Анализ текущего состояния и экономическая оценка вариантов разработки Владимирского месторождения 77

Derduga A.V.

Analysis of the current state and economic evaluation of development options for the Vladimirskeye field

Шальская С.В., Лешкович Н.М.

Оценка эффективности комплекса геофизических исследований скважин при решении нефтепромысловых задач на Кущёвской ПХГ 98

Shalskaya S.V., Leshkovich N.M.

Assessment of the effectiveness of a complex of geophysical research of wells in solving oilfield problems on the Kushchevskoye underground gas storage area

Поварова Л.В.

Анализ экологических проблем современности и пути их решения 120

Povarova L.V.

Analysis of environmental problems of our time and ways to solve them

Кусов Г.В.

Экономическое регулирование природоохранной деятельности на нефтедобывающих предприятиях и рекомендации по совершенствованию экологической безопасности 143

Kusov G.V.

Economic regulation of environmental activities at oil companies and recommendations for improving environmental safety

Трофименко Д.Д.

Геологические основы для проектирования и анализ текущего состояния разработки Тасовского месторождения 175

Trofimenko D.D.

Geological foundations for the design and analysis of the current state of development of the Tasovskoye field

Даценко Е.Н., Орлова И.О., Авакимян Н.Н.

Обоснование эффективной довыработки запасов за счёт реализации технологии одновременно-раздельной добычи и закачки на примере минерального месторождения 192

Datsenko E.N., Orlova I.O., Avakimyan N.N.

Substantiation of effective extraction of resources due to the implementation of the technology of simultaneous-separate production and pumping on the example of minerals field

Материаловедение и нанотехнологии Materials science and nanotechnologies

Юсубов Ф.Ф.

Влияние технологических параметров прессования на физические свойства многокомпонентных композитов 214

Yusubov F.F.

Influence of technological parameters of pressing on physical properties of multicomponent composites

Строительство. Транспорт Construction. Transport

Дворная З.Л.

Особенности применения золотой пропорции в архитектуре 219

Dvornaya Z.L.

Application features gold proportions in architecture

Петренко Д.В., Дегтярева А.В., Левкова В.А., Анищенко Е.В., Акопян Г.Т.
Обзор электронных теодолитов и тахеометров,
выявление их положительных и отрицательных качеств 222

**Petrenkov D.V., Degtyareva A.V., Levkova V.A.,
Anishchenko E.V., Akopyan G.T.**
Review of electronic theodolites and tacheometers,
identifying their positive and negative qualities

Надирян С.Л., Коновалова Т.В.
Комплексный подход к разработке мероприятий по повышению
эффективности использования транспорта
в производственной деятельности предприятий агрокомплекса 226

Nadiryan S.L., Konovalova T.V.
An integrated approach to the development of measures to improve
the efficiency of transport in the production activities of agricultural enterprises

Коновалова Т.В., Надирян С.Л.
Учет ограничений на перевозку грузов
при маршрутизации транспортных средств 230

Konovalova T.V., Nadiryan S.L.
Consideration of restrictions on the carriage of goods when routing vehicles

Топливо-энергетический комплекс Fuel and energy complex

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А.
Анализ переходных характеристик системы шестого порядка
с одним корнем кратностью пять и с одним корнем
кратностью один характеристического уравнения 234

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A.
The analysis of transient characteristics of a sixth order system
with five-time solution and one-time solution of the characteristic equation

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А.
Анализ переходных характеристик системы шестого порядка
с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем
кратностью два характеристического уравнения 241

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A.
The analysis of transient characteristics of a sixth order system
with four-time solution and double solution of the characteristic equation

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Печёнкин О.А.
Анализ переходных характеристик системы шестого порядка
с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями
кратностью один характеристического уравнения 248

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Pechonkin O.A.
The analysis of transient characteristics of a sixth order system
with four-time solution and two one-time solutions of the characteristic equation

Добробаба Ю.П., Ульрих Р.В., Мильдзихов Г.П.
Диаграмма для больших перемещений исполнительного органа
двухмассовой упругой электромеханической системы 255

Dobrobaba Yu.P., Ulrikh R.V., Mildzikhov G.P.
Diagram for large movements of executive body of
the two-mass elastic electromechanical system

Добробаба Ю.П., Ульрих Р.В., Агаев С.О.
Диаграмма для малых перемещений исполнительного органа
двухмассовой упругой электромеханической системы 261

Dobrobaba Yu.P., Ulrikh R.V., Agaev S.O.
Diagram for small movements of executive body of
two-mass elastic electromechanical system

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Щелканов Г.В.
Анализ переходных характеристик системы второго порядка
с действительными отрицательными разными корнями
характеристического уравнения 268

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Shchelkanov G.V.
Analysis of transitional characteristics of the second order system
with real negative different roots of the characteristic equation

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Щелканов Г.В.
Анализ переходных характеристик системы третьего порядка
с действительными отрицательными разными корнями
характеристического уравнения 274

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Shchelkanov G.V.
Analysis of transitional characteristics of the third order system
with real negative different roots of the characteristic equation

Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Щелканов Г.В.
Анализ переходных характеристик системы четвертого порядка
с действительными отрицательными разными корнями
характеристического уравнения 281

Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Shchelkanov G.V.
Analysis of transitional characteristics of the fourth order system
with real negative different roots of the characteristic equation

**Производство, переработка и хранение
сельскохозяйственной продукции**
**Production, processing and storage of
agricultural production**

Медведев А.М., Магомедов А.М., Мишкевич Э.Ю.
Современный методологический подход к обогащению продуктов питания
эссенциальными микроэлементами 288

Medvedev A.M., Magomedov A.M., Micevich E.Y.
Modern methodological approach to the enrichment of
food essential trace elements

Медведев А.М., Иночкина Е.В.
Путь от инновационной идеи к запуску технологических линий 296

Medvedev A.M., Inochkina E.V.
The way from an innovative idea to the launch of production lines

Грибкова И.С., Коломыцев А.А., Хашпакянц Н.О.

Проблемы внедрения единого государственного реестра недвижимости 304

Gribkova I.S., Kolomytsev A.A., Khashpakyants N.O.

Problems of implementing the unified state register of real estate

**ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ**

**INNOVATIVE
TECHNOLOGIES
IN EDUCATION**

Дворная З.М., Дворная З.Л.

Дидактический компонент развития речевой культуры студентов

(в аспекте гуманитаризации технического образования) 309

Dvornaya Z.M., Dvornaya Z.L.

Didactic component of speech development culture of students
(in the aspect of humanitarizations technical education)

Арустамян Р.Ю.

Уровни реализации Scrum-методологии обучения 312

Arustamyan R.Yu.

Implementation levels of Scrum training methodology

Арустамян Р.Ю.

Уровни реализации рейтингового контроля в обучении 316

Arustamyan R.Yu.

Levels of implementation of rating control in training

Варфоломеева С.В., Головнина Н.В., Терехов В.В.

Использование оптимизационных методов в преподавании математики

студентам гуманитарного профиля 320

Varfolomeeva S.V., Golovnina N.V., Terekhov V.V.

The use of optimization methods in teaching mathematics
to students in the humanities

**ОТРАСЛЕВЫЕ НАУЧНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**



**BRANCH SCIENTIFIC
AND APPLIED
RESEARCHES**

УДК 621.01

ЗАКОНЫ И ПОНЯТИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

LAWS AND CONCEPTS OF CLASSICAL MECHANICS

Смелягин Анатолий Игоревич

доктор технических наук, профессор кафедры наземного транспорта и механики, Кубанский государственный технологический университет
asmelyagin@yandex.ru

Smelyagin Anatoly Igorevich

Doctor of technical sciences, Professor Department of land transport and mechanics, Kuban State Technological University
asmelyagin@yandex.ru

Аннотация. Наука, изучающая взаимодействия, равновесие и механическое движение материальных тел называется Механикой. Современная механика разделяется на классическую механику и общую теорию относительности. Практически все созданные человечеством инженерные устройства сделаны с использованием законов и методов расчета классической механики. Фундамент современной классической механики построен на трудах Галилея, Ньютона, Эйлера и таких понятиях, как взаимодействие, движение, количество движения, сила, связь, масса, время, пространство, покой (равновесие). Анализ законов-аксиом И. Ньютона показывает, что, строго говоря, они не являются ни законами и ни аксиомами. Это объясняется тем, что они описывают движение только не существующих в природе объектов, а именно материальных точек. Основные понятия и терминология классической механики в настоящее время точно не определены и не сформулированы. Следовательно, классическая механика нуждается в построении новой теоретической базы.

Annotation. A science that studies the interactions, balance, and mechanical motion of material bodies is called Mechanics. Modern mechanics is divided into classical mechanics and general theory of relativity. Almost all engineering devices created by mankind are made using the laws and methods of calculating classical mechanics. The foundation of modern classical mechanics is based on the works of Galileo, Newton, Euler and such concepts as interaction, motion, momentum, force, connection, mass, time, space, peace (equilibrium). The analysis of laws – the axioms of I. Newton shows that, strictly speaking, they are neither laws nor axioms. This is explained by the fact that they describe the movement of only objects that do not exist in nature, namely, material points. The basic concepts and terminology of classical mechanics are currently not precisely defined and not formulated. Consequently, classical mechanics needs to build a new theoretical base.

Ключевые слова: механика, законы, аксиомы, взаимодействие, движение, количество движения, сила, связь, масса, время, пространство, покой, равновесие.

Keywords: mechanics, laws, axioms, interaction, motion, momentum, force, connection, mass, time, space, peace, balance.

Введение

Наука, изучающая взаимодействия, равновесие и механическое движение материальных тел называется Механикой [1, 2, 3].

Современная механика разделяется на классическую механику (механику Ньютона, а точнее Эйлера) и общую теорию относительности (Эйнштейна).

Изучением движения материальных тел и механических систем при скоростях исследуемых объектов:

- значительно меньших скорости света, занимается классическая механика;
- приближающихся к скорости света, занимается общая теория относительности (ОТО).

Практически все технические устройства, которые были созданы человечеством, имеют скорости значительно меньшие, чем скорость света, и поэтому они сделаны с использованием законов и методов расчета классической механики.

Классическая механика, в отличие от общей теории относительности, прошла многократную строгую теоретическую и экспериментальную проверку и гарантированно обеспечивает требуемую точность технических расчётов. Поэтому применять в инженерной и научной деятельности человечества не проверенную практикой ОТО, которая сильно усложнит расчёты и исследования создаваемых устройств и при этом не повысит их реальную точность, не имеет никакого смысла.

Основы современной классической механики.

Фундамент современной классической механики построен на идеях, трудах, аксиомах и законах Галилея [4], Ньютона [5] и Эйлера [6] и таких понятиях [1–7], как: *взаимодействие, движение, количество движения, сила, связь, масса, время, пространство, покой (равновесие)*.

Проанализируем эти законы-аксиомы и понятия.

Взаимодействие – это действие тел друг на друга, приводящее к изменению их движения, деформации, вида (состава). Эти изменения взаимны. Взаимодействия материальных объектов обычно разделяют на контактные и бесконтактные. Если объекты непосредственно взаимодействуют между собой, то такие взаимодействия считают контактными. Если объекты взаимодействуют между собой находясь на расстоянии, то такие взаимодействия считают бесконтактными.

Взаимодействия материальных объектов осуществляется посредством полей, в результате чего на них действуют распределенные нагрузки (давления) или между ними происходят химические реакции. Поля могут быть гравитационными, силовыми, сильными, слабыми, магнитными, электрическими, тепловыми и биологическими.

Движение – любое изменение, происходящее с материальным телом. В механике под *движением* понимают перемещение материального тела в пространстве и во времени.

Основные положения механики впервые вместе были сформулированы И. Ньютоном в «Математических началах натуральной философии» [5] и приведены ниже.

АКСИОМЫ ИЛИ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

Закон I

Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние.

Закон II

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Закон III

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.

Отметим, что, как указано в [6], Ньютон к вопросам своего приоритета относился ревностно, и он отстаивал свои права только на закон всемирного тяготения и никогда не претендовал на законы – аксиомы, которые сейчас принято называть законами Ньютона.

Современные трактовки законов Ньютона многообразны, хотя по смыслу и содержанию совершенно идентичны [1, 2, 3].

Закон I

Тело (материальная точка) находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если оно не подвержено внешним воздействиям со стороны других тел.

Закон II

Произведение массы точки на вектор абсолютного ускорения, которое она получает под действием всех приложенных к точке сил, равно геометрической сумме этих сил.

$$m\bar{a} = \sum \bar{F}_i \quad (1)$$

Закон III

Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{21} \quad (2)$$

Анализ [11, 12] оригинальных законов Ньютона показывает, что они:

- сформулированы только в словесной форме;
- относятся не к реальным материальным объектам (телам), а к виртуальным материальным точкам;
- сформулированы только для объектов, совершающих поступательное движение.

Также следует отметить, что так называемые первый и третий законы являются не самостоятельными законами, а есть следствия второго закона [8].

Рассмотрим эти утверждения и основные понятия механики.

Во втором законе Ньютона [5] указывается «*Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе*».

Из [5] следует, что Ньютон вводит понятия количества движения и приложенной силы.

В соответствии с И. Ньютоном [5]: «*количество движения* есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе»;

Отметим, что сам термин количество движения бессмыслен по определению. Так, слово количество – это числовое значение параметра, выражаемое в определенных единицах измерения, то есть предполагает счёт чего-либо, но подсчитать или посчитать количественно движение невозможно. Поэтому в [9] предлагается заменить термин количество движения на сознергия.

В современной механике под количеством движения (импульсом) материальной точки понимают векторную меру её механического движения, равную произведению массы на скорость

$$\vec{K} = m\vec{V}. \quad (3)$$

В [10] сказано, что: «Под «*изменением количества движения*» Ньютон понимал производную количества движения по времени».

Тогда, в соответствии с [5] и [10] представим словесную форму второго закона Ньютона для материальной точки в аналитическом виде

$$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}. \quad (4)$$

Сравнивая (1) и (4), видим, что математическая запись оригинального второго закона Ньютона в большинстве современных трактовок отличается от оригинала. Приняв в (4), что масса материальной точки постоянна ($m = const$) и на точку действуют не одна, а несколько сил, тогда из (4) получим формулу (1). Следовательно, большинство современных формулировок второго закона Ньютона это не что иное, как частный случай оригинального закона Ньютона.

В современных трактовках законов Ньютона имеется такое понятие как масса. В разных отраслях современной науки масса определяется по-разному. В механике *масса* – это мера инертных и гравитационных свойств материи. Следует отметить, что традиционно, где эта мера находится и что она собой представляет, не указывается. У Ньютона приводится следующее понятие массы – «*Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему её*».

Инертность – это свойство материальных тел сохранять предыдущее состояние и препятствовать его изменению. Следует отметить, что инертность непосредственно не входит в основные законы и аксиомы механики и, следовательно, оно не является фундаментальным понятием.

Как было выше отмечено, классическая механика также строится на таких понятиях, как *время, пространство, покой*.

В [5] И. Ньютон в своих поучениях приводит следующие определения этих величин.

«*Абсолютное, истинное математическое время* само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо

движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.

Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное.

Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, *относительное* – из относительного в относительное же.

Свойство покоя состоит в том, что тела истинно покоящиеся находятся в покое и друг относительно друга.

Видно, что эти поучения И. Ньютона [5] относительно этих понятий не корректны. Следует отметить, что сам И. Ньютон, как и авторы современных трудов по механике [7, 11], считают эти понятия общеизвестными и потому считают, что нет необходимости их правильно формулировать и объяснять.

Отметим, что в [9, 12] показано, что *время* и *пространство* – это не реальные объекты природы. Это всего лишь виртуальные понятия, введенные человечеством для упрощения решаемых им задач о движении материальных объектов.

Из законов Ньютона [5] следует, что одним из главных понятий в них является *сила*.

Следует отметить, что понятие силы находит широкое применение в различных областях человеческой деятельности, но не имеет четкого определения. По поводу понятия сил, их природы, названий, действий, измерений было много различных споров, дискуссий, мнений [7,11].

Силы в механике можно разделить на:

- функциональные – гравитационные, тяжести, веса, трения, инерции, реактивные, подъёмные, выталкивания, отталкивания, притяжения, упругости, электрические, электромагнитные;
- квалификационные – внешние, внутренние, активные, реакции, слабые, сильные:
 - именные – Ньютоновы, Эйлера;
 - дискуссионные – реальные, фиктивные;
 - и так далее.

В современной механике под силой понимают меру взаимодействия материальных тел. Хотя где находится эта мера и что она из себя представляет никто нигде этого не указывает.

В [9, 12] показано, что в реальной природе *силы* вообще не существуют. Это объясняется тем, что материальные тела взаимодействуют между собой посредством силовых полей, распределённых нагрузок, (давлений). Так как на практике расчет и анализ полей и распределённых нагрузок представляет собой сложную задачу, то, для упрощения исследований при моделировании процессов взаимодействия тел, вводят виртуальные понятия – *сил* и *моментов сил*.

Силы могут возникать только при взаимодействии материальных точек, так как они не имеют размеров и поэтому у них нет и не может быть силовых полей и на них не действуют распределённые нагрузки.

Силы, как и *материальная точка*, *время*, *пространство* – это абстракции человечества.

В классической механике также широкое применение находит такое понятие как *связь*.

Связь – это ограничения, накладываемые на исследуемый материальный объект другими материальными объектами. При изучении движения от связей обычно избавляются и их действие заменяют *силами*. Устраняют связи с помощью принципа освобождения от связей. Так как связь заменяют силой, то можно сделать вывод, что связь и сила в конечном итоге – это аналогичные понятия, но их почему-то принято разделять.

Из кинематики известно [1, 2, 3], что в общем случае любое движение материального тела состоит из суммы двух простейших – поступательного и вращательного. Следовательно, чтобы правильно описать общий случай движения тела – надо одно-

временно учитывать его вращательное и поступательное движение. Однако, как оригинальные, так и современные законы И. Ньютона вообще не учитывают вращательное движение. Это является удивительным потому, что И. Ньютон в своей работе «Математических началах натуральной философии» [5], главным образом, занимался изучением движения небесных тел, которые он принимал за материальные точки. Понятно, что материальная точка из-за отсутствия у нее размеров не имеет собственного вращательного движения, но большинство небесных тел движутся по стационарным орбитам, то есть практически совершают вращательное движение.

Покажем, что материальные точки кроме поступательного также совершают вращательное движение, например, когда они перемещаются по орбите (рис. 1).

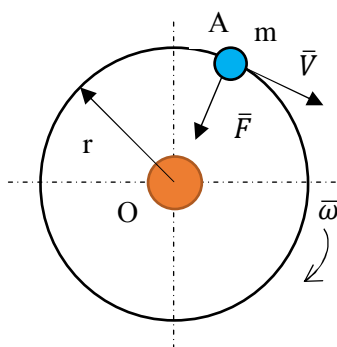


Рисунок 1 – Движение материальной точки по окружности

Пусть материальная точка A массой $m = const$ движется под действием силы F по круговой орбите радиусом $r = const$ с угловой скоростью ω .

В соответствии со вторым законом Ньютона [1,2,3], уравнение её движения будет иметь вид

$$m\bar{a} = \bar{F}. \quad (5)$$

Представим (5) в виде

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = \bar{F}, \quad (6)$$

где \bar{V} – линейная скорость материальной точки при её движении по орбите.

Из кинематики известно, что линейная и угловая скорости связаны между собой соотношением

$$\bar{V} = \bar{\omega}r. \quad (7)$$

Подставив (7) в (6) и учитывая, что $r = const$, получим

$$mr \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{F}. \quad (8)$$

Так как

$$\bar{\varepsilon} = \frac{d\bar{\omega}}{dt}, \quad (9)$$

где $\bar{\varepsilon}$ – угловое ускорение материальной точки.

С учётом (9), уравнение (8) примет вид

$$mr\bar{\varepsilon} = \bar{F}. \quad (10)$$

Умножим левую и правую части уравнения (10) на r

$$mr^2\bar{\varepsilon} = \bar{F}r. \quad (11)$$

Введем обозначения:

$$\bar{M} = \bar{F}r; \quad (12)$$

$$I = mr^2, \quad (13)$$

где \bar{M} и I , соответственно, моменты силы и инерции.

С учётом принятых обозначений (12) и (13) уравнение вращательного движения материальной точки по орбите примет вид

$$I\bar{\varepsilon} = \bar{M}. \quad (14)$$

Из (14) следует, что в оригинальных и современных законах Ньютона, даже если считать, что они относятся к материальным точкам, в них, в общем случае, обязательно должно было быть учтено не только поступательное, но и вращательное движение их. Однако этого не было сделано.

Итак, законы И. Ньютона описывают движение только несуществующей в природе материальной точки. Доказательством этого является также то, что:

- в первом законе Ньютона записано «*Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения*», то есть речь идет именно о материальной точке, а не о теле, так как если говорить о теле, то надо говорить и о его вращательном движении;

- во втором законе Ньютона утверждается «*Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе*», то есть речь в законе идет именно о материальной точке, а не о теле, потому что если бы речь шла о теле, то надо было говорить о силовых полях и учитывать ещё действие моментов сил;

- в первом и втором законах Ньютона говорится о действующих на тела силах, но в природе на тела непосредственно действовать силы не могут. На взаимодействующие тела действуют силовые поля. Сила – это искусственная локализация силовых полей.

Следовательно, в этих законах речь идет не о материальных телах, а о материальных точках.

В классической механике при исследовании движения материальных объектов наряду с законами Ньютона часто используются общие уравнения динамики и уравнения аналитической механики, которые формально выведены из законов Ньютона. Следовательно, они получены на той же теоретической базе, что и сами законы Ньютона.

Выводы.

Подводя итог сказанному, можно заключить:

- законы-аксиомы И. Ньютона строго говоря не являются ни законами и ни аксиомами так как они описывают движение только не существующих в природе виртуальных объектов, а именно, материальных точек;

- аксиоматика и терминология классической механики в настоящее время точно не определена и не сформулирована.

К аналогичному выводу приходят П.В. Харламов и А.Ю. Ишлинский [7, 11], которые считают, что современная классическая механика:

- не аксиоматизирована;
- не имеет однозначно определённых основные понятий;
- нуждается в построении новой теоретической базы.

Литература:

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
2. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. 2-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 720 с.
3. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. – Киев : Наук. думка, 1989. – 864 с.
4. Галилео Галилей. Избранные труды в двух томах. – М. : Наука, 1964.
5. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
6. Эйлер Л. Основы динамики точки. – Москва-Ленинград : НТИ-НКТП СССР, 1938. – 500 с.
7. Харламов П.В. Очерки об основаниях механики. Мифы, заблуждения и ошибки. – Киев : Наук. думка, 1995. – 407 с.
8. Смелягин А.И. Аксиомы или законы движения сформулировал И. Ньютон // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 2. – С. 11–16
9. Смелягин А.И. Основные, первичные понятия механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 2. – С. 17–26.

10. Кирсанов М.Н. Конспект лекций по динамике. – URL : <http://termech.mpei.ac.ru/kir/PDF/DNLD/din1.pdf> (Дата обращения: 05.04.14).

11. Ишлинский А.Ю. Механика: идеи, задачи, приложения. – М. : Наука, 1985, 624 с.

12. Смелягин А.И. Объекты, для которых сформулированы аксиомы или законы классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 1. – С. 21–25.

References:

1. Nikitin N.N. The course of theoretical mechanics. – M. : Higher. school., 1990. – 607 p.
2. Golubev Yu.F. Fundamentals of theoretical mechanics. 2nd ed. – M. : Publishing House of Moscow State University, 2000. – 720 p.
3. Kuzmichev V.E. Laws and formulas of physics. – Kiev : Science. Dumka, 1989. – 864 p.
4. Galileo Galilei. Selected works in two volumes. – M. : Science, 1964.
5. Newton Isaac. Mathematical principles of natural philosophy. – M. : Nauka, 1989. – 688 p.
6. Euler L. Fundamentals of the dynamics of a point. – Moscow-Leningrad : NTI-NKTP USSR, 1938. – 500 p.
7. Kharlamov P.V. Essays on the foundations of mechanics. Myths, fallacies and mistakes. – Kiev : Science. Dumka, 1995. – 407 p.
8. Smelyagin A.I. Axioms or laws of motion were formulated by I. Newton // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2014. – № 2. – P.11–16
9. Smelyagin A.I. Basic, primary concepts of mechanics// Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2014. – № 2. – P.17–26.
10. Kirsanov M.N. Abstract of lectures on dynamics. – URL : <http://termech.mpei.ac.ru/kir/PDF/DNLD/din1.pdf> (Date of access: 04/05/14).
11. Ishlinsky A.Yu. Mechanics: ideas, tasks, applications. – M. : Nauka, 1985. – 624 p.
12. Smelyagin A.I. Objects for which axioms or laws of classical mechanics are formulated // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2014. – № 1. – P. 21–25.

УДК 622.831.312

**ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ
ГЕОРГИЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
С ЦЕЛЬЮ АНАЛИЗА ТЕКУЩЕЙ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ НЕФТИ
И ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДОСТИЖЕНИЮ
ПРОЕКТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НЕФТЕИЗВЛЕЧЕНИЯ**

**CREATION OF DIGITAL MODELS
OF THE GEORGIEVSKOYE FIELD
IN ORDER TO ANALYZE THE CURRENT DEVELOPMENT
OF OIL RESERVES AND SUBSTANTIATE MEASURES
TO ACHIEVE THE DESIGN OIL RECOVERY FACTOR**

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Демченко Александр Валерьевич

аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
avdemchenkmail@gmail.com

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor of oil and gas engineering
Department named after professor
G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
olgasavenok@mail.ru

Demchenko Alexander Valerievich

Postgraduate Student,
Kuban state technological university
avdemchenkmail@gmail.com

Аннотация. В статье приведены сведения о геологическом строении залежи и физико-химических свойствах пластовых флюидов, выполнен анализ текущей выработки запасов нефти Георгиевского месторождения и обоснование мероприятий по достижению проектного коэффициента нефтеизвлечения на основе построения геолого-гидродинамической модели, и сделаны выводы о возможных направлениях по доработке данного объекта.

Ключевые слова: цифровые геологические модели; обоснование объёмных сеток и параметров модели; построение структурных моделей залежей; построение литологических моделей залежей; построение модели насыщения пластов флюидами; оценка достоверности геологической модели; построение цифровой фильтрационной модели.

Annotation. The article provides information on the geological structure of the reservoir and the physicochemical properties of reservoir fluids, analyzes the current oil reserves of the Georgievskoye field and substantiates measures to achieve the design oil recovery factor based on building a geological and hydrodynamic model, and concludes on possible directions for further development of this object.

Keywords: digital geological models; substantiation of volume grids and model parameters; creation of structural models of deposits; creation lithological models of deposits; creation a model of reservoir saturation with fluids; assessment of the reliability of the geological model; creation of digital filtration model.

Ц ифровые геологические модели

Анализ текущего состояния разработки и обоснование мероприятий по эффективной довыработке запасов нефти Георгиевского месторождения основаны на построенной нами постоянно-действующей геолого-технологической модели месторождения.

Построение геологической модели залежей майкопского (P_3) и кумского (P_2 km) горизонтов осуществлено в программном комплексе «Petrel» фирмы «Schlumberger».

Моделирование включало следующие этапы:

- построение структурно-тектонического каркаса;
- создание литологической модели;
- создание петрофизической модели;
- подсчёт запасов УВС.

Для майкопского и кумского горизонта построены отдельные геологические модели.

Обоснование объёмных сеток и параметров модели

Объёмная сетка формировалась на этапе Pillar Gridding. Размерность сетки, учитывая размеры месторождения и расстояние между скважинами, принята по латерали для майкопского горизонта 25×25 м, для кумского горизонта 50×50 м.

Основным критерием при выборе размерности по вертикали являлась детальность геологической модели и возможность гидродинамического моделирования (ограничение общего количества ячеек в модели) (табл. 1).

Таблица 1 – Размерность геологической модели Георгиевского месторождения

Объект	Количество ячеек			Количество ячеек в модели	Размерность ячеек, м	Средняя толщина ячеек, м	Тип разбиения
	по X	по Y	по Z				
P ₃	119	41	30	146370	25×25	1,07	пропорциональный
P _{2km}	168	36	400	2419200	50×50	0,78	пропорциональный

Построение структурных моделей залежей

На этапе структурного моделирования залежи майкопского горизонта построены структурные поверхности кровли и подошвы с учётом линии выклинивания. Структура подошвы пласта выполнена в согласии с опорной кровлей и разделяющих их толщин.

Для залежи кумского горизонта смоделировано два разлома. На этапе структурного моделирования пласта кумских отложений построены поверхности кровли и условной подошвы продуктивных пород. Структурные модели пластов представлены на рисунках 1 и 2.

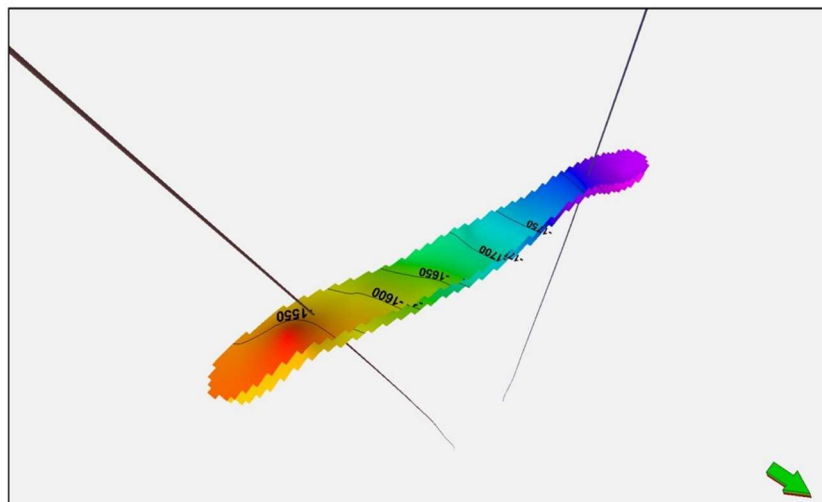


Рисунок 1 – Структурная модель пласта P₃

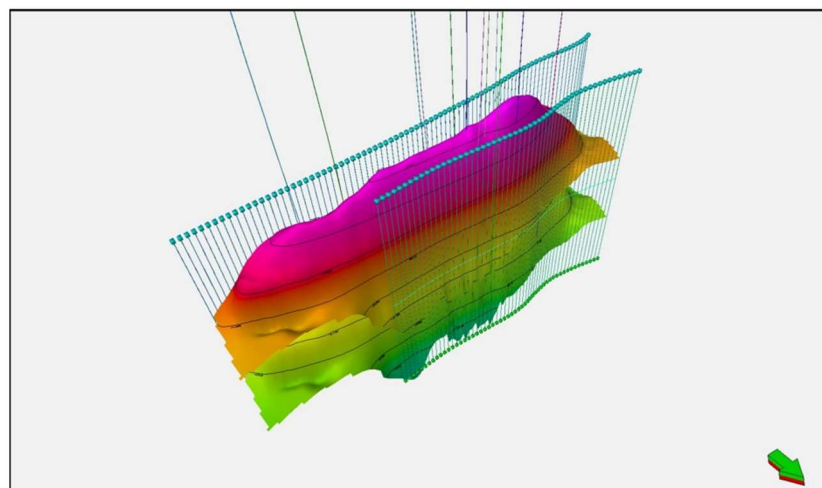


Рисунок 2 – Структурная модель пласта P_{2km}

Построение литологических моделей залежей и распределение фильтрационно-емкостных свойств

Этап литологического моделирования майкопского пласта включал в себя распределение дискретных параметров (коллектор, неколлектор) – на геометрическую сетку осреднена дискретная кривая литологии, в которой для майкопского пласта: индекс 1 – коллектор, индекс 0 – неколлектор, для кумского пласта: индекс 0 – неколлектор, индекс 1 – коллектор трещинно-порового типа, индекс 2 – коллектор трещинного типа. Куб литологии (модель распространения продуктивных пропластков) продуктивных пластов построен с применением модуля «Facies modeling» стохастическим методом.

Для наиболее корректного построения кубов литологии (соответствия статистических данных куба скважинным данным) радиусы корреляции подобраны индивидуально для каждого пласта.

Параметры вариограмм для трёхмерного распределения литологии, использованные при моделировании, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Радиусы корреляции, использованные при построении литологии

Пласт	Код фации	Основной радиус	Второстепенный радиус	Радиус по вертикали	Азимут	Тип вариограммы
P ₃	Коллектор (1)	200	200	6	0	Spherical
	Неколлектор (0)	200	200	6	0	Spherical
P _{2km}	Коллектор трещинно-порового типа (1)	1000	1000	10	0	Exponential
	Коллектор трещинного типа (2)	1000	1000	10	0	Exponential
	Неколлектор (0)	1000	1000	10	0	Exponential

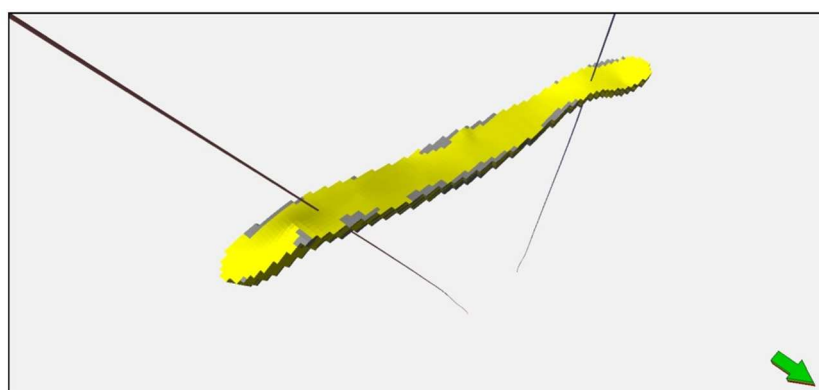


Рисунок 3 – Литологическая модель пласта P₃

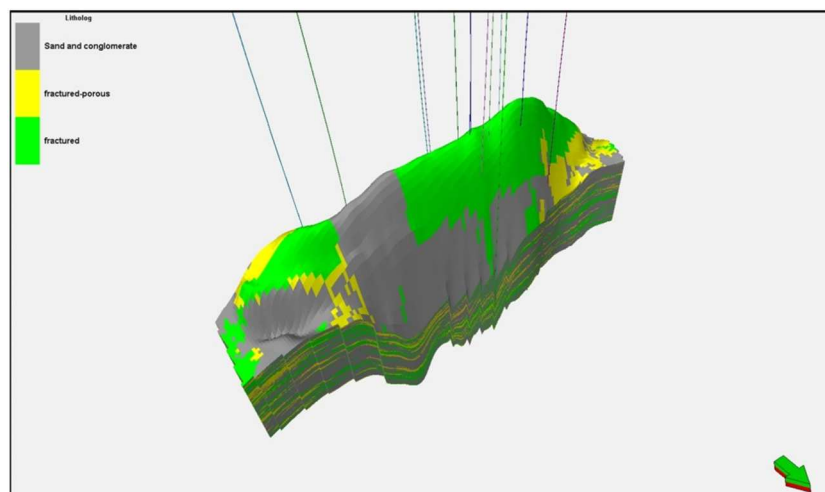


Рисунок 4 – Литологическая модель пласта P_{2km}

Ввиду недостаточного количества определений по пластам параметр пористости построен путём присвоения констант. Для залежи майкопского горизонта – 0,17 доли ед., для залежи кумского горизонта для коллектора трещинно-порового типа – 0,107 доли ед., для коллектора трещинного типа – 0,009 доли ед.

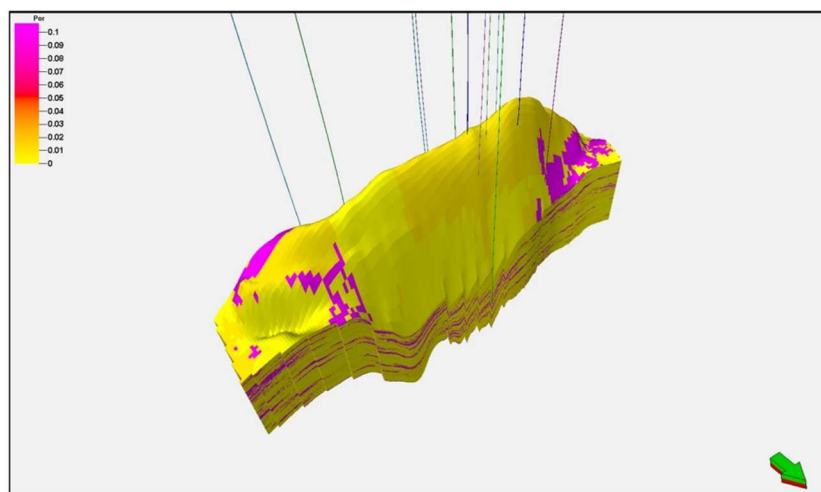


Рисунок 5 – Куб пористости пласта P₂km

Построение модели насыщения пластов флюидами

Параметр нефтенасыщенности в модели для пластов ввиду недостаточного количества определений, распределялся путем присвоения констант для майкопского продуктивного пласта – 0,57 доли ед., для кумского продуктивного пласта – 0,7 доли ед.

Подсчёт геологических запасов углеводородного сырья

Запасы углеводородов в 3D модели рассчитаны объёмным методом, который является основным методом подсчёта запасов согласно действующей инструкции ГКЗ. Запасы рассчитаны по формуле:

$$Q_{\text{нзз}} = \delta_{\text{н}} \cdot b \cdot \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m \sum_{z=1}^k (V_{\text{н}}),$$

где $V_{\text{н}} = h_{\text{эф,н}(i)} \cdot K_{\text{п}(i)} \cdot K_{\text{н}(i)} \cdot S_i$ – объём нефти в ячейке сетки в пластовых условиях, м³; $h_{\text{эф,н}(i)}$ – нефтенасыщенная толщина в ячейке модели, м; $K_{\text{п}(i)}$ – пористость коллектора в ячейке модели, доли ед.; $K_{\text{н}(i)}$ – коэффициент нефтенасыщенности в ячейке модели, доли ед.; S_i – площадь ячейки, м²; $\delta_{\text{н}}$ – плотность нефти в стандартных условиях, т/м³.

Объём нефтенасыщенного коллектора $V_{\text{к}}$ определён по цифровым кубам доли коллекторов, при суммировании V_i в ячейках сетки соответствующих полигонов и с учётом модели контактов флюидов.

Подсчёт запасов в модели произведен с помощью модуля «Volume calculation».

Оценка достоверности геологической модели

Состояние запасов нефти числящихся на Государственном балансе РФ по Георгиевскому месторождению, представлено в таблице 3.

Для оценки достоверности геологической модели продуктивных пластов Георгиевского месторождения проведено сравнение начальных геологических запасов нефти, подсчитанных в ходе геологического моделирования, с величинами, числящимися на Государственном балансе.

Сравнительный анализ величин начальных геологических запасов нефти, подсчитанных в ходе геологического моделирования и числящихся на Государственном балансе, по залежам и по месторождению в целом, показал, что разница не превышает 5 % (табл. 4). Это доказывает достоверность построенной геологической модели согласно методическим указаниям.

Таблица 3 – Сводная таблица подсчётных параметров, запасов нефти Георгиевскому месторождению

Показатели	Пласт		
	майкопский P ₃	кумский P _{2km}	
Категория запасов	C ₁	B	C ₂
Площадь, нефтеносности, тыс. м ²	879	2038	2088
Средняя нефтенасыщенная толщина, м	18	61	76,7
Коэффициенты, доли ед.:			
– пористости	0,17	0,06	0,07
– нефтенасыщенности	0,57	0,7	0,7
– пересчётный	0,8	0,631	0,631
Плотность нефти, г/см ³	0,832	0,855	0,855
Начальные геологические запасы нефти, тыс. тонн	1012	2471	933

Таблица 4 – Сопоставление запасов нефти, подсчитанных в 3D модели с запасами, числящимися на Государственном балансе

Пласт	Категория	Начальные геологические запасы нефти в геологической модели, тыс. тонн	Начальные геологические запасы нефти, числящиеся на ГБ, тыс. тонн	Абсолютная разница, тыс. тонн	Разница, %
P ₃	C ₁	1018	1012	+ 6	+ 0,6
P _{2km}	B	2336	2471	– 135	– 5
	C ₂	925	933	– 8	– 0,9

Построение цифровой фильтрационной модели

Одним из основных направлений в повышении качества и обоснованности проектных решений является использование методики трёхмерного численного моделирования продуктивных пластов.

Для идентификации гидродинамических параметров Георгиевского месторождения и последующего выполнения прогнозных расчётов технологических показателей по вариантам разработки была выбрана трёхмерная модель фильтрации флюида в пористой среде.

При моделировании использовался гидродинамический симулятор «tNavigator» компании «RFDynamics».

Моделирование основано на численном (конечно-разностном) методе решения системы уравнений в частных производных, описывающих трёхмерную фильтрацию флюида в пористой среде.

Полная система уравнений, описывающая фильтрацию компонентов, включает в себя:

- уравнения баланса массы компонентов в фазах;
- уравнения движения фаз (обобщённые законы Дарси);
- уравнения состояния; начальные и краевые условия фильтрации;
- граничные условия на скважинах.

Моделью учитываются гравитационные силы, сжимаемость пласта и насыщающих его флюидов, фазовые превращения углеводородных компонентов, влияние градиентов пластового давления на остаточные насыщенности нефтью и водой, неоднородность пласта по проницаемости и толщине.

Симулятор позволяет рассчитывать показатели разработки нефтяной, водонефтяной, газовой, водогазовой или нефтегазовой залежей.

Скважины могут вводиться не одновременно и размещаться на залежи, как по регулярной системе, так и произвольно. На скважинах можно поддерживать либо дебиты по сумме фаз, либо давления на забоях.

На границах моделируемого участка залежи четырёхугольной формы могут быть заданы краевые условия первого рода – фиксированное пластовое давление,

второго рода – фиксированный расход жидкости через границу (нулевой расход соответствует непроницаемой границе) и третьего рода – фиксированная линейная связь между переменными: расходом через границу и пластовым давлением на ней.

Относительные фазовые проницаемости, используемые в модели, учитывают закономерности фильтрации флюидов на микро- и макроуровнях. Это учитывается путём лабораторных определений остаточных насыщенных нефти при вытеснении водой, и, если необходимо, газом или водогазовыми смесями, насыщенностей связанной водой в нефтенасыщенной и газонасыщенной частях пласта, а также аналогичных характеристик для газа, если этого требуют условия моделирования. Лабораторным путём находятся также относительные фазовые проницаемости для нефти при остаточной (связанной) воде или воды при остаточной нефти. Закономерности фильтрации на макроуровне основываются на слоистой неоднородности пласта.

Обоснование выбора типа модели

Геологическая модель Георгиевского месторождения состоит из:

- каркаса модели;
- 3D распределения литологии (коллектор/неколлектор);
- 3D распределения пористости;
- 3D распределения проницаемости;
- 3D распределения водонасыщенности.

Параметры пористости, проницаемости взяты из геологической модели без ремасштабирования. Для ускорения расчётов были отключены области моделей не участвующие в фильтрации нефти.

Для гидродинамического моделирования объектов Георгиевского месторождения была принята модель двухфазной фильтрации: нефть и пластовая вода.

Были заданы зависимости физико-химических (PVT) свойств для нефти выше давления насыщения. Объёмный коэффициент при начальном пластовом давлении равен обратной величине от пересчётного коэффициента, принятого при подсчёте геологических запасов.

Законтурная водоносная область была задана увеличением порового объёма краевых ячеек модели.

Обоснование размерности сеток и схемы выделения слоев модели

Геометрия месторождения задается регулярной неравномерной сеткой. Для наилучшей аппроксимации трёхмерной структуры пласта была использована геометрия угловой точки («corner-point»). Размерность моделей объектов P_3 и P_{2km} указана в таблице 5. Средний размер ячеек по направлению осей X и Y равен 25 м, для модели объекта P_3 и для модели объекта P_{2km} 50 м. Средняя толщина ячеек моделей объектов P_3 и P_{2km} составляет 1,07 и 0,78 м. Геологическая модель передана для гидродинамического моделирования без ремасштабирования.

На рисунках 8–9 приведены карты начальной нефтенасыщенности для объектов P_3 и P_{2km} . Сопоставление запасов, числящихся на государственном балансе и рассчитанных на основе цифровых моделей, представлено в таблице 6.

Таблица 5 – Сравнение размерностей трёхмерных ГМ и ФМ

Объект	Модель	Число блоков сетки по трём направлениям			Количество ячеек	Количество активных ячеек
		NX	NY	NZ		
P_3	геологическая	119	41	30	149370	24103
	фильтрационная	119	41	30	149370	24103
P_{2km}	геологическая	168	34	400	2419200	721974
	фильтрационная	168	34	400	2419200	721974

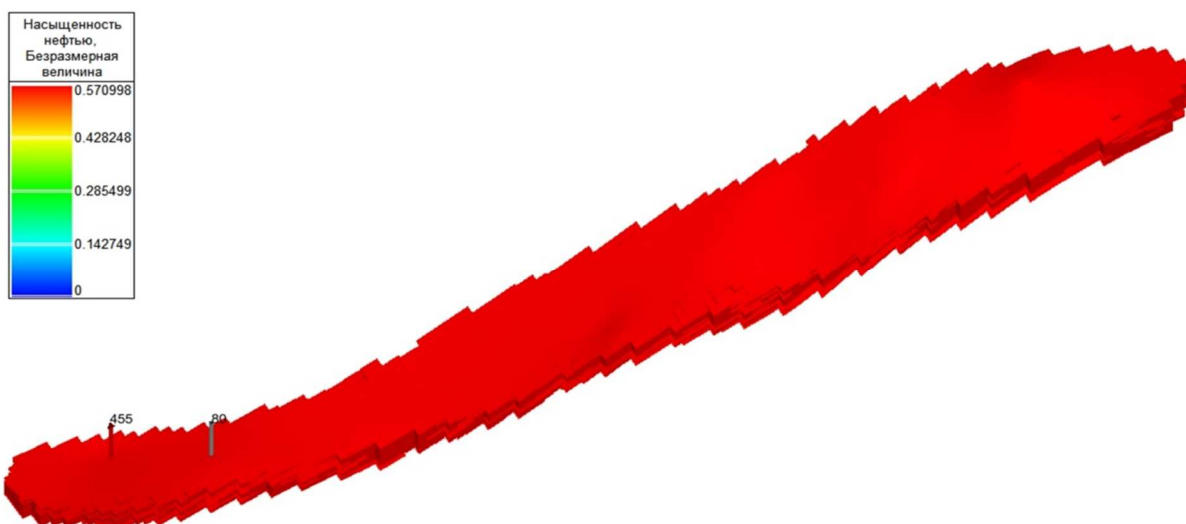


Рисунок 6 – Трёхмерная аппроксимация гидродинамической модели объекта P₃ (куб нефтенасыщенности)

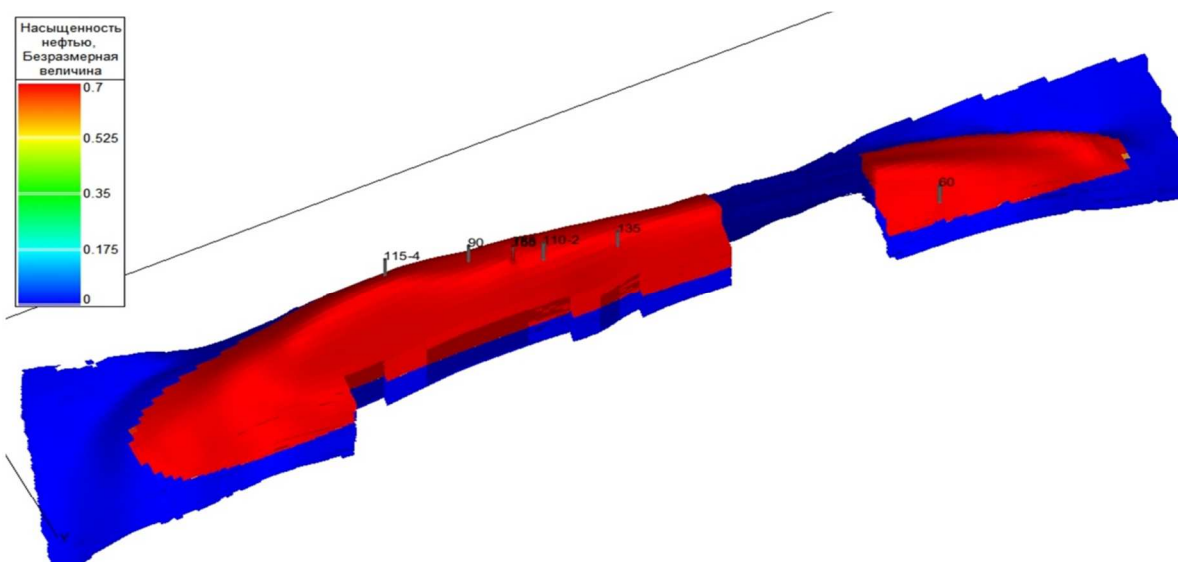


Рисунок 7 – Трёхмерная аппроксимация гидродинамической модели объекта P_{2km} (куб нефтенасыщенности)

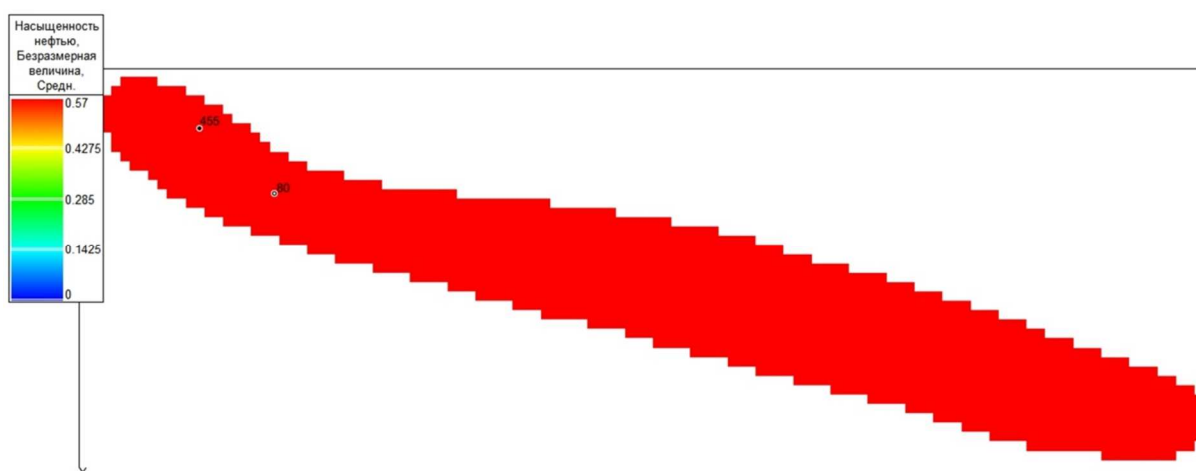


Рисунок 8 – Карта начальной нефтенасыщенности объекта P₃ (средневзвешенная по эффективной толщине)

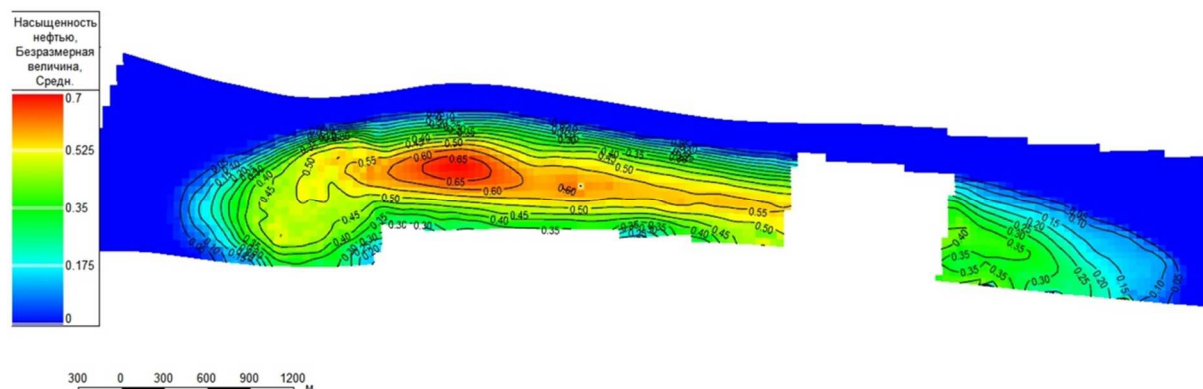


Рисунок 9 – Карта начальной нефтенасыщенности объекта P_{2km} (средневзвешенная по эффективной толщине)

Таблица 6 – Сравнение начальных геологических запасов газа, числящихся на государственном балансе и рассчитанных на основе трёхмерных ГМ и ФМ

Параметры	Подсчёт запасов	ЦГМ	ЦФМ	Расхождение			
				абс. ед.		%	
				ЦГМ	ЦФМ	ЦГМ	ЦФМ
P ₃							
Начальные геологические запасы нефти, млн м ³	1012	1012	1027	0	– 15	0,0	– 1,5
Объём нефтенасыщенных пород, тыс. м ³	15822	15822	16129	0	– 307,4	0,0	– 1,9
Площадь нефтеносности, тыс. м ²	879	879	863	0	16,5	0,0	1,9
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	18	18	18,7	0	– 0,700	0,0	– 3,9
Средний коэффициент пористости, доли ед.	0,17	0,17	0,17	0	0	0,0	0,0
Средний коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.	0,57	0,57	0,568	0	0,002	0,0	0,4
P _{2km}							
Начальные геологические запасы нефти, млн м ³	3404	3404	3350	0	54	0,0	1,6
Объём нефтенасыщенных пород, тыс. м ³	565649	565649	547784	0	165,2	0,0	3,2
Площадь нефтеносности, тыс. м ²	3024,9	3024,9	3015	0	10,1	0,0	0,3
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	187	187	181,7	0	5,300	0,0	2,8
Средний коэффициент пористости, доли ед.	0,016313	0,0163	0,0164	0	– 0,00016	0,0	– 1,0
Средний коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.	0,698	0,698	0,6975	0	0,00049	0,0	0,1

Обоснование физико-химических свойств пластовых флюидов

На Георгиевском месторождении были отобраны глубинные пробы в пяти скважинах. На их основании были построены PVT-свойства, использованные в модели, которые приведены в таблице 7.

Таблица 7 – PVT свойства флюидов, заданные при моделировании

Параметры	Объекты	
	P ₃	P _{2km}
Вязкость нефти, мПа·с	1,7	0,4
Плотность нефти, кг/м ³	832	844
Объёмный коэффициент нефти, доли ед.	1,250	1,584
Давление насыщения нефти газом, атм.	257	257
Газосодержание, м ³ /м ³	228	79
Вязкость воды, мПа·с	0,22	0,22

Относительные фазовые проницаемости и капиллярные давления

Собственные специальные исследования на керне не проводились. Концевые точки (значения остаточных и максимальных нефте- и водонасыщенностей) принимались за основу при построении модифицированных функций ОФП. Для построения кривых ОФП использовалась формула Corey.

Модифицированные при адаптации и принятые в модели функции фазовых проницаемостей в системе «нефть-вода», представлены на рисунках 10 и 11.

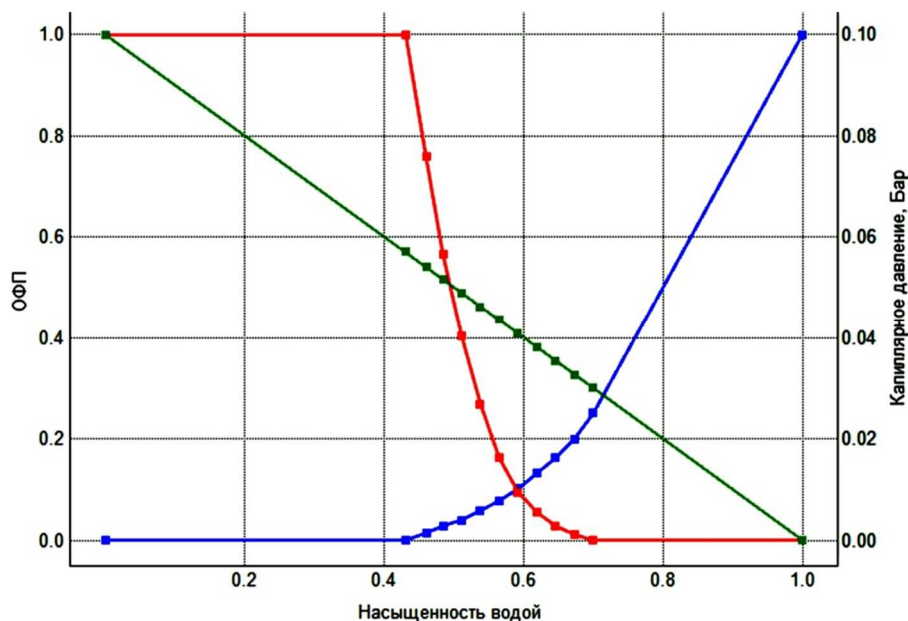


Рисунок 10 – Модифицированные относительные фазовые проницаемости по нефти и воде объектов Р3

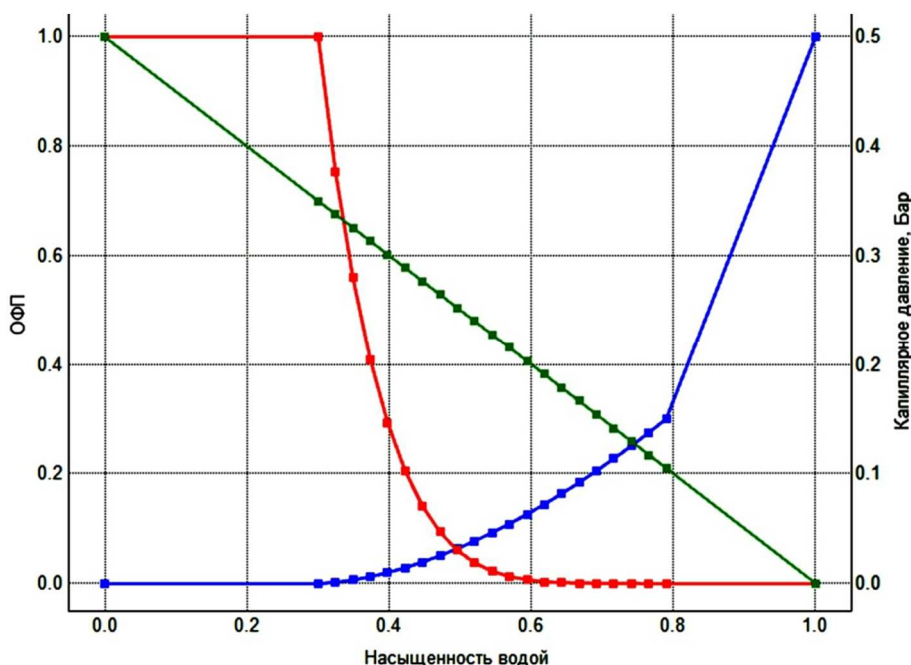


Рисунок 11 – Модифицированные относительные фазовые проницаемости по нефти и воде объекта Р2km

Начальные условия

Начальное насыщение модели Георгиевского месторождения задавалось с помощью опции гидростатического выравнивания и использования куба водонасыщенности из геологической модели. Уровни ВНК взяты в соответствии с результатами опробования скважин.

Законтурная водоносная область была задана водоносным пластом Картера-Трейси для объекта P_{2km} и не задавалась для объекта P_3 так как залежь ограничена. На всем протяжении разработки месторождения не наблюдалось заметного снижения пластового давления, что указывает на достаточную активность законтурных вод объекта P_{2km} .

Моделирование скважин

Из базы данных были выгружены сведения о режимах работы скважин, используемые для задания истории разработки резервуара:

- номер скважины;
- сеточные координаты скважин;
- данные о месячных отборах по скважинам и по фазам (газ, вода);
- интервалы перфораций;
- число часов работы каждой скважины в месяце (информация вводилась как коэффициент эксплуатации).

В модели реализован контроль скважин по дебиту жидкости для объекта.

Уточнение параметров (адаптация) фильтрационной модели на основе анализа истории разработки

Целью адаптации моделей было добиться адекватного описания процессов фильтрации. Критерием качества адаптации являлось соответствие следующих расчётных параметров фактическим: дебиты газа по скважинам и пластового давления.

Гидродинамические модели сааптированы к утвержденным геологическим запасам газа. Значения пористости и нефтенасыщенности в гидродинамической модели, площадь газоносности и нефтеносности, объём нефтенасыщенных пород совпадают с параметрами, принятыми в подсчёте. В модели реализован контроль скважин по дебиту жидкости. Динамика обводнённости скважин адаптировалась при помощи относительных фазовых проницаемостей, и вертикальной анизотропии проницаемости.

Результаты адаптации фильтрационной модели Георгиевского месторождения приведены на рисунках 12–15.

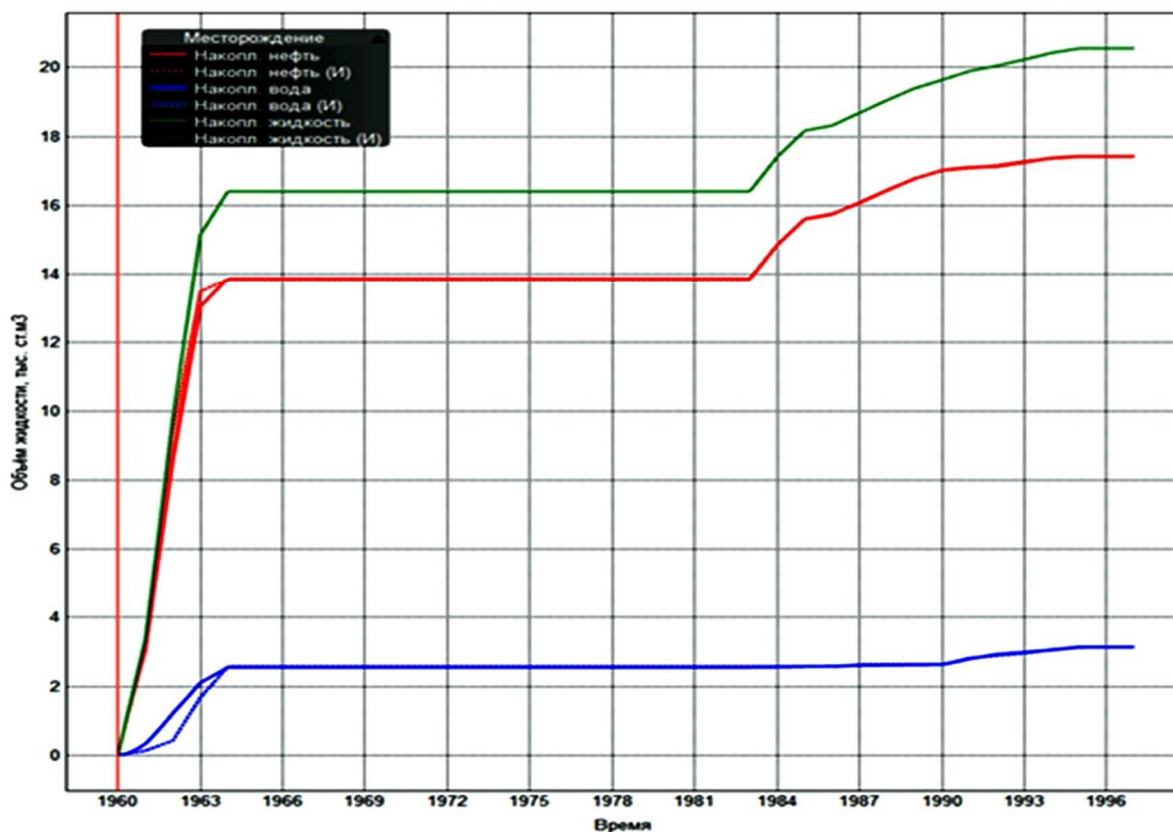


Рисунок 12 – Накопленная добыча нефти, воды и жидкости объекта P_3

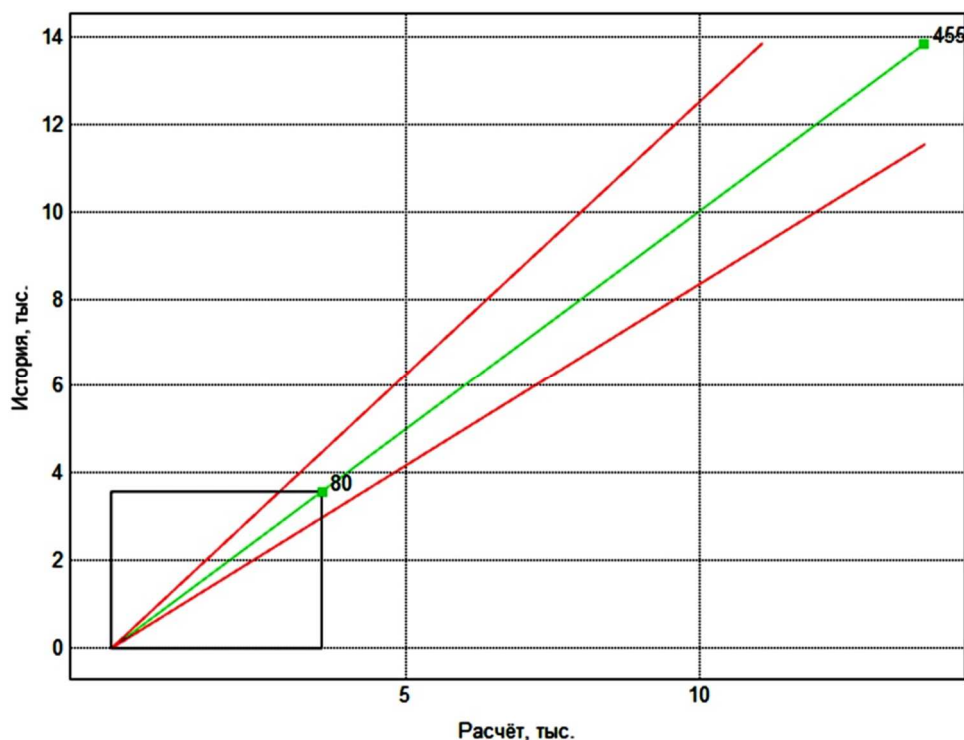


Рисунок 13 – Кроссплот по добыче нефти объекта P₃

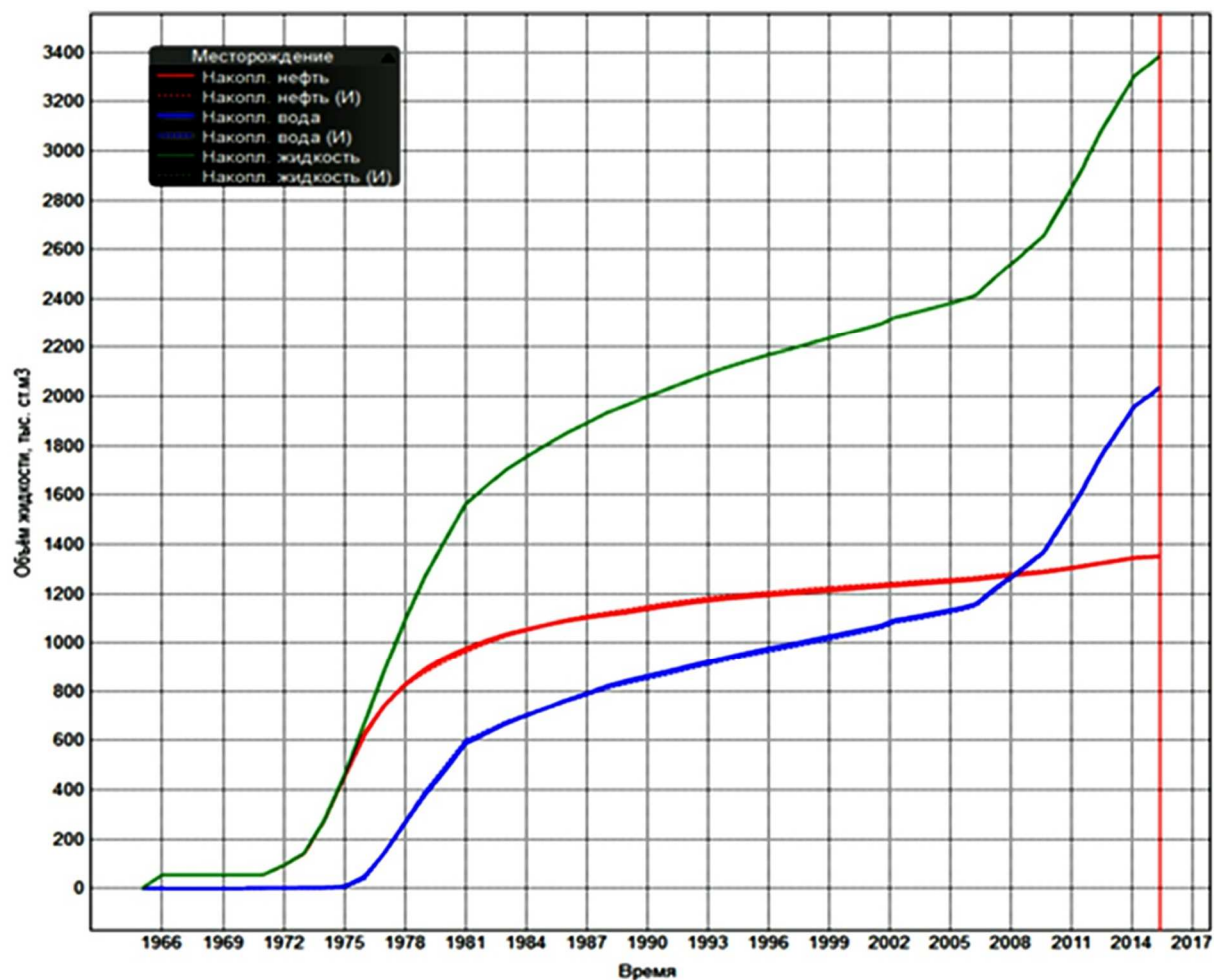


Рисунок 14 – Накопленная добыча нефти, воды и жидкости объекта P_{2km}

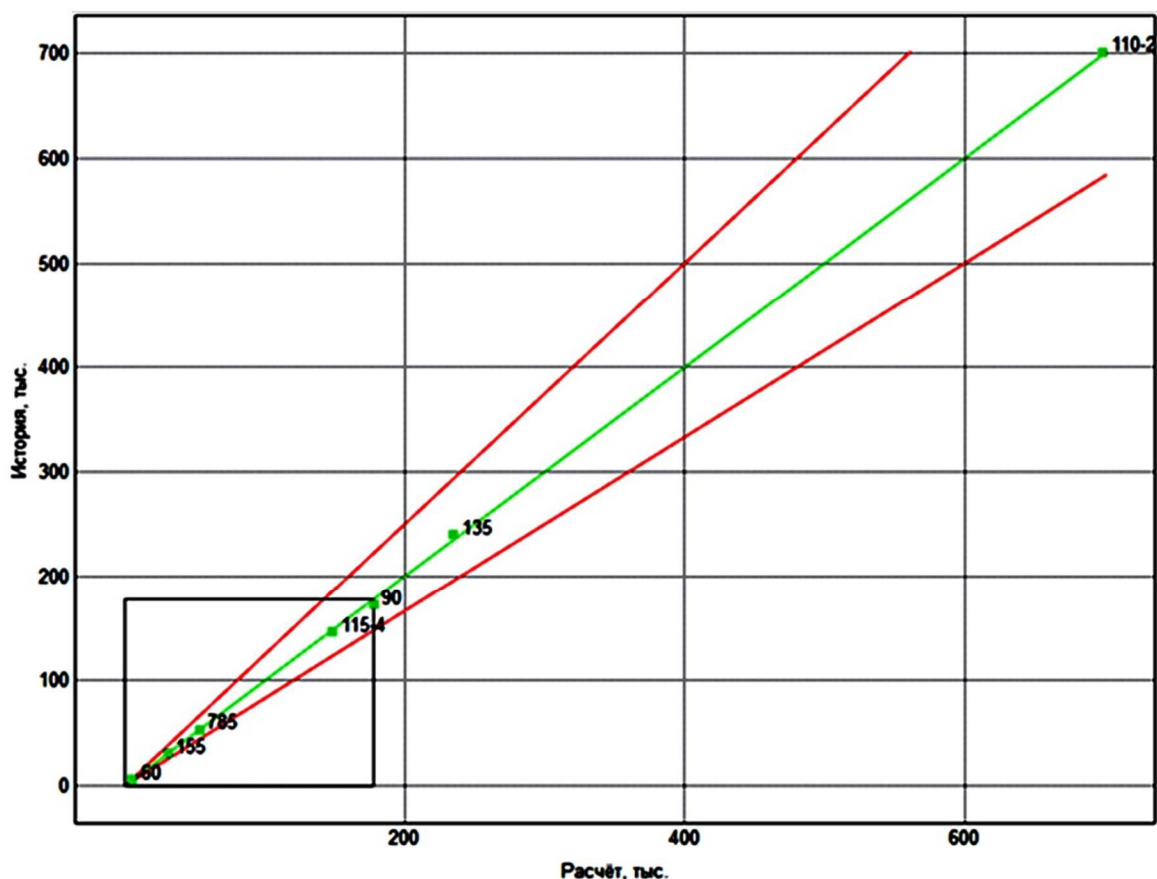


Рисунок 15 – Кроссплот по добыче нефти объекта P_{2km}

На рисунках 16–19 приведены карты текущих удельных активных запасов нефти и изобар, построенные по модели по состоянию на 01.01.2017 г.

Совпадение расчётных и фактических показателей разработки месторождения подтверждает, что гидродинамические модели Георгиевского месторождения учитывают основные геолого-физические и технологические факторы и позволяют адекватно воспроизводить основные процессы, происходящие в пласте в ходе разработки месторождения: изменения пластового давления. Модель использована для анализа выработки запасов и расчёта прогнозных вариантов разработки месторождения.

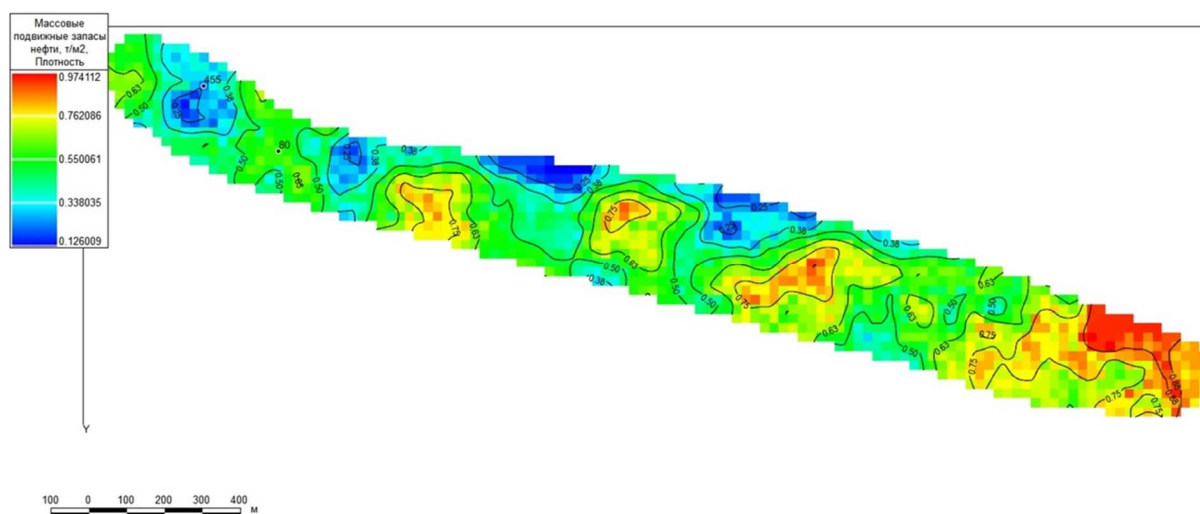


Рисунок 16 – Карта текущих удельных активных запасов нефти (тыс. м³/м²). Объект P₃ (по состоянию на 01.01.2017 г.)

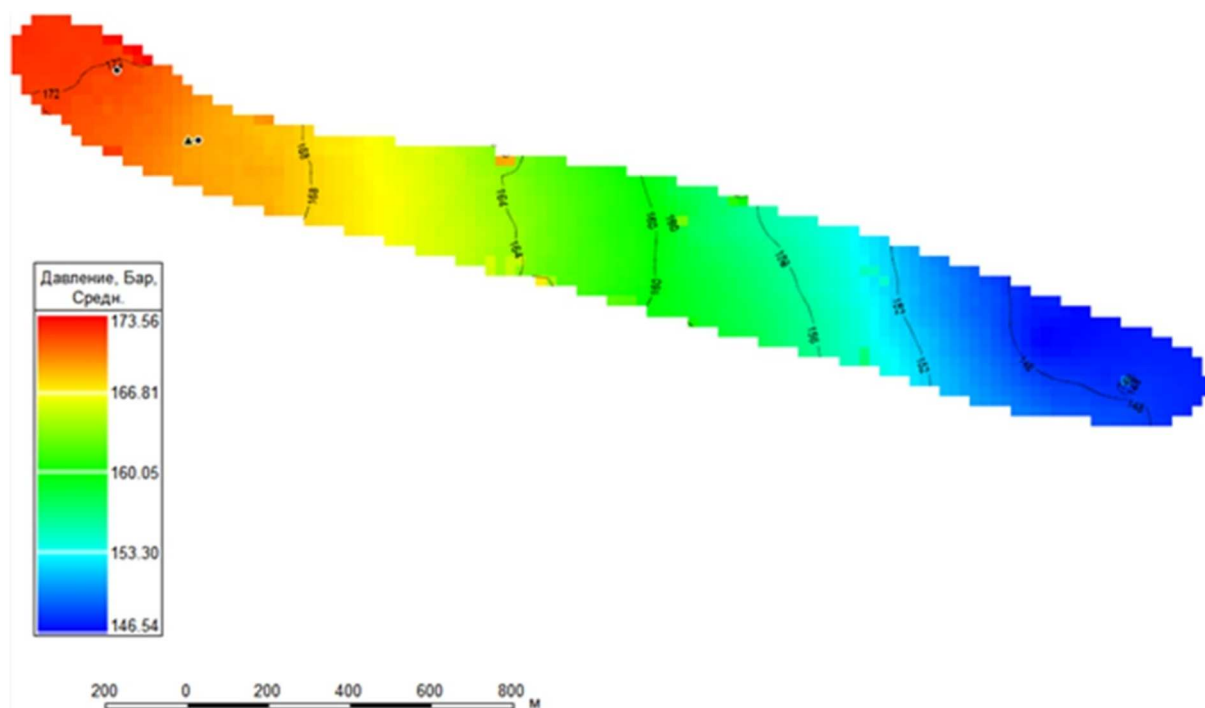


Рисунок 17 – Карта изобар объекта P₃ (по состоянию на 01.01.2017 г.)

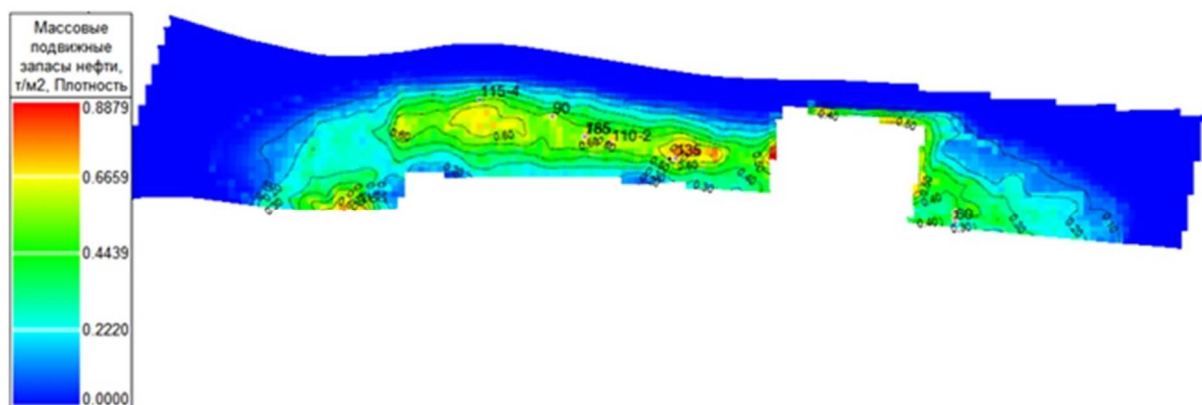


Рисунок 18 – Карта текущих удельных активных запасов нефти (тыс. м³/м²). Объект P_{2km} (по состоянию на 01.01.2017 г.)

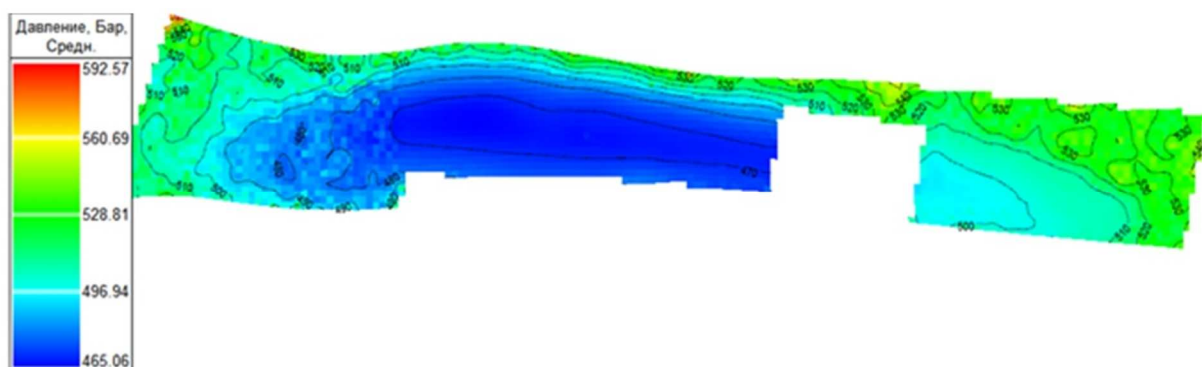


Рисунок 19 – Карта изобар объекта P_{2km} (по состоянию на 01.01.2017 г.)

Литература:

1. Приказ МПР РФ № 61 от 21.03.2013 г. Методические рекомендации по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. – М., 2013.
2. РД 153-39.0-047-00. Регламент по созданию постоянно-действующих геолого-технологических моделей нефтяных месторождений.
3. РД 153-39-007-96. Регламент составления проектных технологических документов разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений.
4. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений / Министерство энергетики Российской Федерации, Федеральное Государственное учреждение «Экспертнефтегаз». – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2014.
5. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Промсвещение-Юг», 2011. – 603 с.
6. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
7. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
8. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
9. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика: монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
10. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
11. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа : учебное пособие. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
12. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
13. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
14. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 267 с.
15. Березовский Д.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка физико-химических моделей и методов прогнозирования состояния пород-коллекторов // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 84–86.
16. Дердуга А.В., Ншутти Мвизерва Иве. Построение геологической и гидродинамической моделей Владимирского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 266–280.
17. Захарченко Е.И., Захарченко Ю.И. Применение марковских моделей к анализу разработки нефтегазовых месторождений и оценке дебитов скважин // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч. : Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 170–172.
18. Куренков В.В. Построение трёхмерной геологической модели на примере литологии Вынгапуровского месторождения // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года): в 5 томах: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 108–110.
19. Скуба Д.А., Колбунов М.Г., Савенок О.В., Соловьёва В.Н. Вероятностная модель массивных залежей нефти в верхнекаменноугольных и силурийско-девонских карбонатных отложениях Тимано-Печорской провинции // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 1. – С. 54–65.
20. Теплюк А.М., Савенок О.В. Оценка перспектив доразведки многопластового Южно-Удмуртского месторождения на основе уточнения геологической модели и опытно-промышленная разработка эксплуатационных объектов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 3. – С. 121–143.

References:

1. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation № 61 of 21.03.2013. Methodical recommendations on designing the development of oil and gas fields.– М., 2013.
2. RD 153-39.0-047-00. Regulations on creation of permanent geological and technological models of oil fields.

3. RD 153-39-007-96. Regulations for drafting design technological documentation for the development of oil and oil and gas fields.
4. Methodical instructions on creation of permanent geological and technological models of oil and gas fields / Ministry of Energy of the Russian Federation, Federal State Institution «ExPertneftegaz». – M. : JSC «VNIOENG», 2014.
5. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in construction of oil and gas wells : textbook for university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie-South, 2011.– 603 p.
6. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 v. : manual. – Krasnodar: Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of oil and gas wells: in 4 v. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Scientific bases and practice of the oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
9. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Development of the naphtha and gas sverdlovin. Science and practice : monograph. – Lviv : Spolom, 2018. – 476 p.
10. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of geophysical research during construction and operation of wells at oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 p.
11. Popov V.V., Bogush I.A., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Lavrentyev A.V. Search, exploration and exploitation of oil and gas fields : textbook. – Novocheerkassk : South Russian State Pedagogical University (NPI), 2015. – 322 p.
12. Popov V.V., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical surveys and well work : a training manual. – Novocheerkassk : Lik, 2017.– 326 p.
13. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremiychuk R.S. Oil and gas engineering for well development. – M. : Infra-Engineering, 2019.– 548 p.
14. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019. – 267 c.
15. Berezovsky D.A., Lavrent'ev A.V., Savenok O.V., Koshelev A.T. Development of the physico-chemical models and methods for forecasting the reservoir rocks condition (in Russian) // Oil industry. – 2014. – № 9. – P. 84–86.
16. Derduga A.V., Nshuti Mviserva, Ive. Construction of geological and hydrodynamic models of the Vladimirskoye field // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 266–280.
17. Zakharchenko E.I., Zakharchenko Y.I. Application of the Markov models to the analytical study of the oil and gas field development and the assessment of well production rates (in Russian) // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 2 in 2 hours. Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 170–172.
18. Kurenkov V.V. Building a three-dimensional geological model on the example of lithology of the Vyangpurovskoye field // Bulatovskie readings : Proceedings of the I International Scientific Conference (March 31, 2017): in 5 volumes: a collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 1: Forecast, prospecting and exploration of oil and gas fields. Oil and gas field geology. Exploration and field geophysics. – P. 108–110.
19. Scuba D.A., Kolbunov M.G., Savenok O.V., Solovyova V.N. Probabilistic model of massive oil deposits in the Upper Carboniferous and Silurian-Devonian carbonate deposits of the Timan-Pechora province (in Russian) // Petroleum engineer. – 2016. – № 1. – C. 54–65.
20. Teplyuk A.M., Savenok O.V. Estimation of prospects for additional exploration of the multi-horizon South Udmurt field on the basis of refinement of the geological model and pilot development of operational facilities (in Russian) // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 3. – P. 121–143.

УДК 622.276

**АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ
И ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДОРАЗРАБОТКЕ
ГЕОРГИЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**ANALYSIS OF THE CURRENT STATE
AND SUBSTANTIATION OF RECOMMENDATIONS
FOR THE ADDITIONAL DEVELOPMENT
OF THE GEORGIEVSKOYE FIELD**

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Демченко Александр Валерьевич

аспирант,
Кубанский государственный
технологический университет
avdemchenkomail@gmail.com

Аннотация. В статье сделан анализ текущего состояния (эксплуатационных объектов и месторождения в целом) и дано обоснование рекомендаций по доработке Георгиевского месторождения. Приведены технологические показатели разработки.

Ключевые слова: состояние разработки месторождения; характеристика текущего состояния разработки месторождения; анализ текущего состояния разработки эксплуатационных объектов; обоснование рекомендаций по доработке месторождения; технологические показатели разработки.

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor of oil and gas engineering
Department named after professor
G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university

Demchenko Alexander Valerievich

Postgraduate Student,
Kuban state technological university

Annotation. The article analyzes the current state (production facilities and the field as a whole) and substantiates the recommendations for further development of the Georgievskoye field. The technological indicators of development are given.

Keywords: field development status; description of the current state of field development; analysis of the current state of development of operational facilities; substantiation of recommendations for additional development of the field; technological development indicators.

Х характеристика текущего состояния разработки месторождения в целом

Промышленная нефтеносность месторождения связана с залежами нефти в продуктивном горизонте кумской свиты (P_{2km}) и в продуктивном горизонте майкопской свиты (P_{3mp}). Всего на месторождении пробурены 44 скважины, действующей по состоянию на 01.01.2017 г. является одна скважина (№ 135), которая эксплуатируется на кумском горизонте. В ликвидированном фонде числятся 35 скважин, ещё 5 в ожидании ликвидации и 3 скважины находятся в наблюдательном фонде. Структура фонда скважин представлена в таблице 1.

Распределение скважин, пребывавших в эксплуатации по продолжительности работы, накопленной добыче нефти и жидкости по состоянию на 01.01.2017 г. приведено в таблице 2.

По состоянию на 01.01.2017 г. из продуктивных залежей с начала разработки отобрано 1159 тыс. тонн нефти, что составляет 74 % от начальных извлекаемых запасов по категории BC_1 . Обводнённость добываемой продукции составляет 93,7 %. Основная добыча приходится на кумский горизонт – 1143 тыс. тонн или 94 % от НИЗ. Динамика основных технологических показателей разработки Георгиевского месторождения показана на рисунке 1.

Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле

Таблица 1 – Характеристика фонда скважин Георгиевского месторождения по состоянию на 01.01.2017 г.

Наименование	Характеристика фонда скважин	Майкопский горизонт (P _{3mp})	Кумский горизонт (P _{2km})	Месторождение
Фонд добывающих скважин	Пробурено	2	42	44
	Возвращены с других горизонтов:	1	–	–
	Всего	3	41	44
	В том числе:	–	–	–
	Действующие	–	1	1
	из них фонтанные	–	1	1
	ЭЦН	–	–	–
	ШГН	–	–	–
	газлифт:	–	–	–
	бескомпрессорный	–	–	–
	внутрискважинный	–	–	–
	Бездействующие	–	–	–
	В освоении после бурения	–	–	–
	В консервации	–	–	–
Наблюдательные	–	3	3	
Переведены в нагнетат. фонд	–	–	–	
Переведены на другие горизонты	–	1	–	
В ожидании ликвидации	2	3	5	
Ликвидированные	1	34	35	
Фонд нагнетательных скважин	Пробурено	–	–	–
	Возвращены с других горизонтов	–	–	–
	Переведены из добывающих:	–	–	–
	Всего	–	–	–
	В том числе:	–	–	–
	Под закачкой	–	–	–
	Бездействующие	–	–	–
	В освоении после бурения	–	–	–
	В консервации	–	–	–
	В отработке на нефть	–	–	–
Переведены на другие горизонты	–	–	–	
В ожидании ликвидации	–	–	–	
Ликвидированные	–	–	–	
Фонд газовых скважин	Пробурено	–	–	–
	Возвращены с других горизонтов:	–	–	–
	Всего	–	–	–
	В том числе:	–	–	–
	Действующие	–	–	–
	Бездействующие	–	–	–
	В освоении после бурения	–	–	–
	В консервации	–	–	–
	Наблюдательные	–	–	–
	Переведены на другие горизонты	–	–	–
В ожидании ликвидации	–	–	–	
Ликвидированные	–	–	–	
Всего	–	–	–	
Фонд водозаборных скважин	Пробурено:	–	–	–
	Всего	–	–	–
	В ожидании ликвидации	–	–	–
	Ликвидированные	–	–	–
Всего пробурено				44

Таблица 2 – Распределение скважин, пребывавших в эксплуатации по продолжительности работы, накопленной добыче нефти и жидкости по состоянию на 01.01.2017 г.

Продолжительность работы			Накопленная добыча нефти			Накопленный отбор жидкости		
интервал продолжительности работы, лет	кол-во скважин, шт.	% от общего кол-ва скважин	интервал накопл. добычи нефти, тыс. тонн	кол-во скважин, шт.	% от общего кол-ва скважин	интервал накопл. отбора жидкости, тыс. тонн	кол-во скважин, шт.	% от общего кол-ва скважин
до 15	2	25	до 100	4	50	до 200	3	37,5
15–30	3	37,5	100–200	2	25	200–400	2	25
свыше 30	3	37,5	свыше 200	2	25	свыше 400	3	37,5
всего	8	100	всего	8	100	всего	8	100

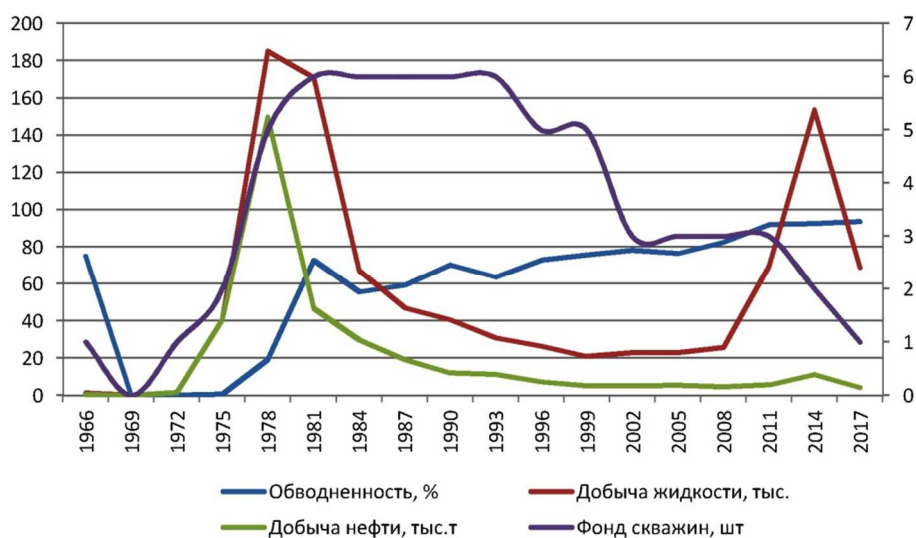


Рисунок 1 – Динамика основных технологических показателей разработки Георгиевского месторождения

За период разработки в эксплуатации на нефть пребывало восемь скважин, в том числе две на майкопском горизонте. В среднем на одну скважину приходится 140 тыс. тонн нефти и 329 тыс. тонн жидкости. При этом необходимо отметить, что высокие отборы нефти соответствуют только скважинам кумского горизонта. Максимальные отборы нефти приурочены к скважинам № 110 (591,9 тыс. тонн) и № 135 (201,4 тыс. тонн). Данные отборы объясняются местоположением этих скважин – сводовая часть структуры залежи.

Оценка выработки запасов нефти Георгиевского месторождения показана в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка выработки запасов нефти Георгиевского месторождения

Показатели	Месторождение
Геологические запасы нефти (категория С ₁), тыс. тонн	3483
Извлекаемые запасы (категория С ₁), тыс. тонн	1560
Принятый коэффициент нефтеизвлечения (категория С ₁), доли ед.	0,448
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	1159
Степень выработки НИЗ (категория С ₁), %	74,32
Средняя обводнённость, %	93,7
Годовая добыча нефти в 2016 году, тыс. тонн	4,3
Темп отбора от НИЗ (категория С ₁), %	0,3
Текущий КИН (категория С ₁), доли ед.	0,333

Оценка текущего состояния выработки извлекаемых запасов нефти приведена на рисунке 2, динамика выработки извлекаемых запасов – на рисунке 3.

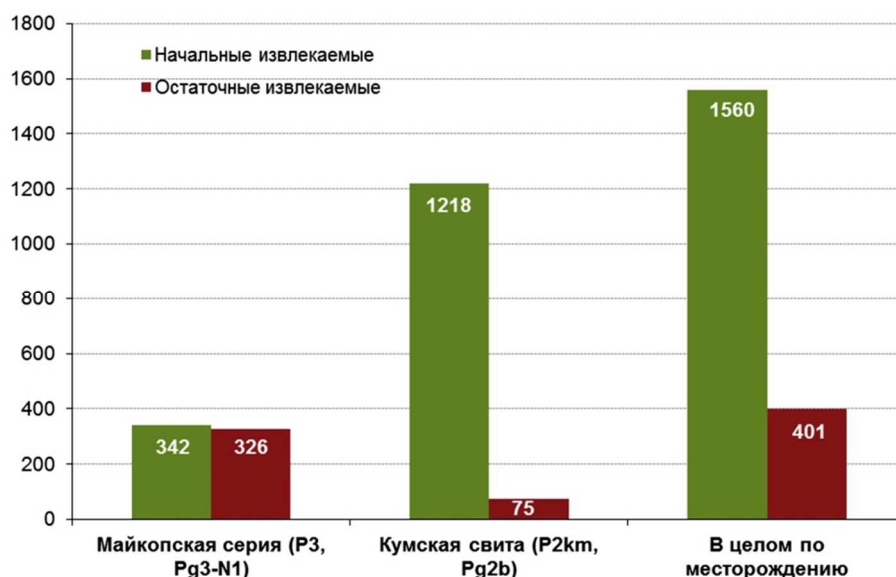


Рисунок 2 – Оценка текущего состояния выработки извлекаемых запасов нефти

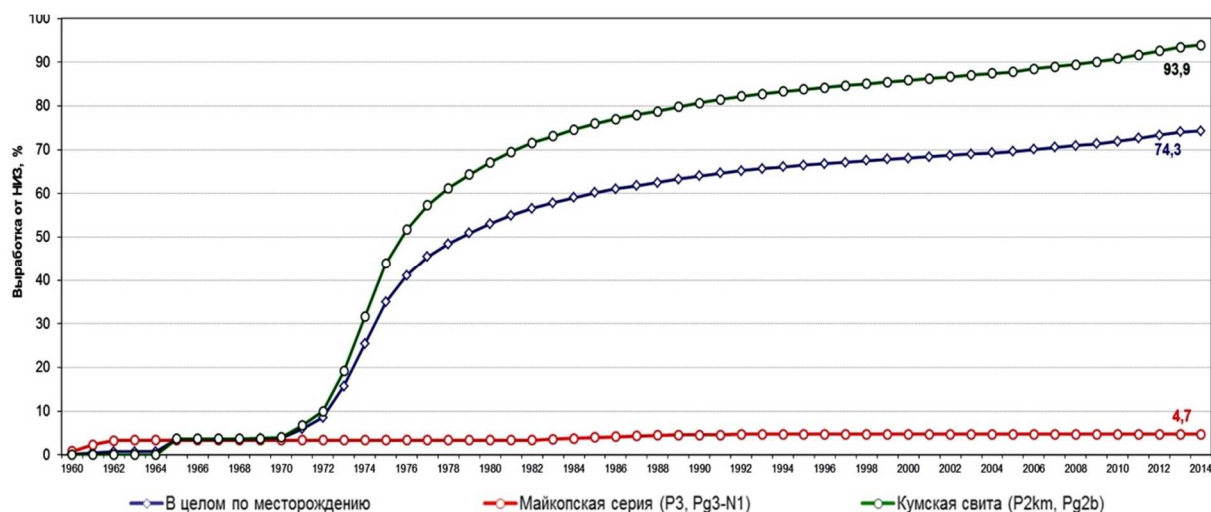


Рисунок 3 – Динамика выработки извлекаемых запасов

Анализ текущего состояния разработки эксплуатационных объектов

Кумская свита

В феврале 1965 года при вскрытии кумского горизонта из разведочной скважины № 785 был получен выброс с последующим аварийным фонтанированием нефтью. В результате аварии по расчётам специалистов «Краснодарнефтегаз» было потеряно около 45 тыс. тонн нефти и 10 млн м³ нефтяного газа. В сентябре этого же года скважину ликвидировали.

В апреле 1970 года скважина № 60 была введена в эксплуатацию со II-ой пачки в интервале 4434–4526 м. Начальный дебит составил 6 тонн/сут. безводной нефти через $d_{шт} = 2,5$ мм штуцер, $P_{б\text{уф}} = 3,7$ МПа, $P_{зам} = 2,4$ МПа. За 3 года эксплуатации дебит скважины упал до 0,8 тонн/сут. при 3,2 % обводнённости. В 1972 году скважину перевели на ШГН, но это привело лишь увеличению добычи газа. В 1975 году в скважине достреляли верхнюю пачку в интервале 4384–4452 м, кратковременно увеличив дебит скважины до 4–5 тонн/сут. С 1976 года дебит скважины не превышал 0,2 тонн/сут. при обводнённости 85 %. В 1982 году переведена в бездействие, в мае 1984 года ликвидирована. Из скважины добыто 5,2 тыс. тонн нефти, 7,1 тыс. тонн жидкости, 1,0 млн м³ растворённого газа.

При этом стоит отметить, что скважина № 60 (рис. 4) находилась в эксплуатации на момент подсчёта запасов 1979 года, а зону, в которой она находилась, включили в категорию с запасами C_2 .

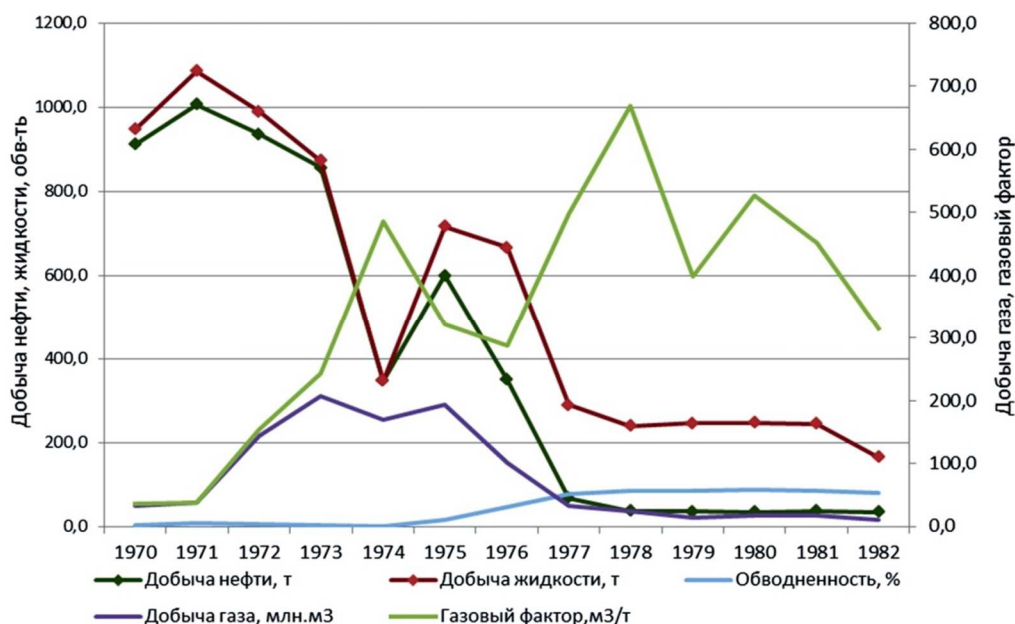


Рисунок 4 – Показатели эксплуатации скважины № 60

В апреле 1971 года в эксплуатацию ввели скважину № 90. Начальный дебит скважины 108 тонн/сут., начальная обводнённость 0,4 %, $P_{буф} = 25$ МПа, $P_{зам} = 34$ МПа. Добыча велась в интервале 4270–4430 м. Основная часть добытой нефти приходится на первые 5 лет эксплуатации, вплоть до 1976 года. Начиная с 1976 года, дебиты скважины по нефти падают до 5,7 тонн/сут. при обводнённости 95,5 %. Пластовое давление за данный период упало на 17,6 МПа (с 76,1 до 58,5 МПа). С 1976 года начинает расти газовый фактор. Для предотвращения разгазирования нефти в стволе скважины она переводится в режим накопления. С апреля 1998 года скважина законсервирована, а с 01.01.1990 г. переведена в наблюдательный фонд. С 01.08.2011 г. скважина находится в ожидании ликвидации. По скважине добыто 145,8 тыс. тонн нефти, 239,6 тыс. тонн жидкости, 35,5 млн м³ растворённого газа (рис. 5).

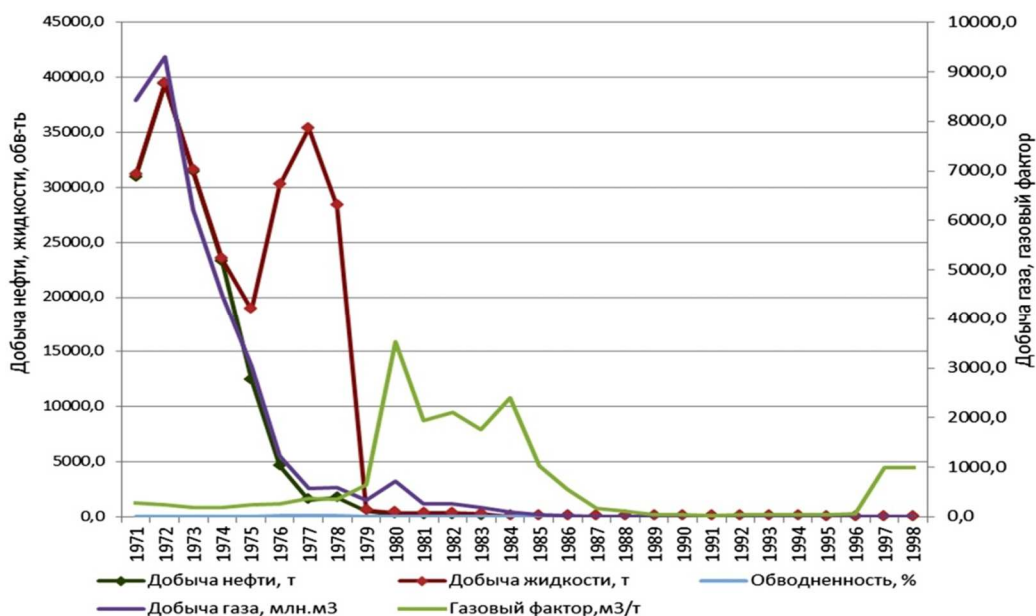


Рисунок 5 – Показатели эксплуатации скважины № 90

Скважина № 110 была пущена в эксплуатацию в январе 1973 года со II-ой пачки кумских отложений через щелевой фильтр в интервале 4240,4–4390 м. В связи с высоким пластовым давлением в затрубное пространство было закачано 33 м³ высоковязкой нефти. После вывода на режим на штуцере 5,1–5,9 мм скважина работала с дебитом 210 тонн/сут. при обводнённости 0,4 % и $P_{буф} = 41,6$ МПа, $P_{зам} = 32,2$ МПа. Около года скважина работала в постоянном режиме с дебитами 200–212 тонн/сут. и обводнённостью 0,4–1,0 %.

Начиная с 1974 года, происходит падение дебита до 176 тонн/сут. при постоянном проценте воды на уровне 0,4–0,9 %. С 1976 года по скважине наблюдается резкий прорыв воды, достигающий в отдельные месяцы 34 %. Средняя обводнённость в 1977 году составила 18,7 %. В 1976–1977 гг. по скважине проводится ряд глинокислотных обработок. Одновременно были снижены темпы отбора до 94,2 тонн/сут. при обводнённости 8 %. Практически весь период скважина работала с постоянным газовым фактором 167–235 м³/т и высоким коэффициентом эксплуатации 0,99. Темпы снижения дебита по нефти и рост обводнённости при неизменном устьевом давлении, начиная с 1978 года, остаются постоянными. В 2002–2003 гг. в скважине № 110 (рис. 6) было выполнено две обработки призабойной зоны (глинокислотные обработки), при этом обводнённость продукции продолжала расти. Скважина работала с дебитом нефти 9 тонн/сут. при обводнённости 76 %. В июне 2012 года и апреле 2013 года провели дизельно-толуольную обработку скважины. В декабре 2015 года скважина работала с дебитом нефти 19 тонн/сут., жидкости – 206 тонн/сут. при обводнённости 91 %. В январе 2016 года скважина была остановлена и с 01.04.2016 г. переведена в наблюдательный фонд.

Накопленная добыча нефти по скважине равна 591,9 тыс. тонн, жидкости – 1036,6 тыс. тонн, растворённого газа – 129,2 млн м³.

Скважина № 115 вступила в ноябре 1973 года (рис. 7) с начальным дебитом безводной нефти 123 тонн/сут. через штуцер 4-6 мм при $P_{буф} = 40,9$ МПа и $P_{зам} = 31,7$ МПа. Забой скважины оборудован щелевым фильтром в интервале II-ой пачки кумского горизонта на глубине 4292–4444 м. В начальный период эксплуатации работа скважины характеризуется высоким темпом падения буферного давления, за 6 месяцев оно снизилось с 40,9 до 25,0 МПа. Снижение дебита нефти связано с ростом обводнённости продукции, которая к 1980 году составила 97 %. В этот же период происходит высокий рост газового фактора с 222 до 6000 м³/т.

Начиная с 1981 года, скважина работает в режиме накопления с дебитом 0,01 тонн/сут. и обводнённостью 99,6 %. При этом снижение темпов отбора жидкости в целом по залежи привело к увеличению устьевых давлений за счёт компенсации внедрившейся в залежь воды.

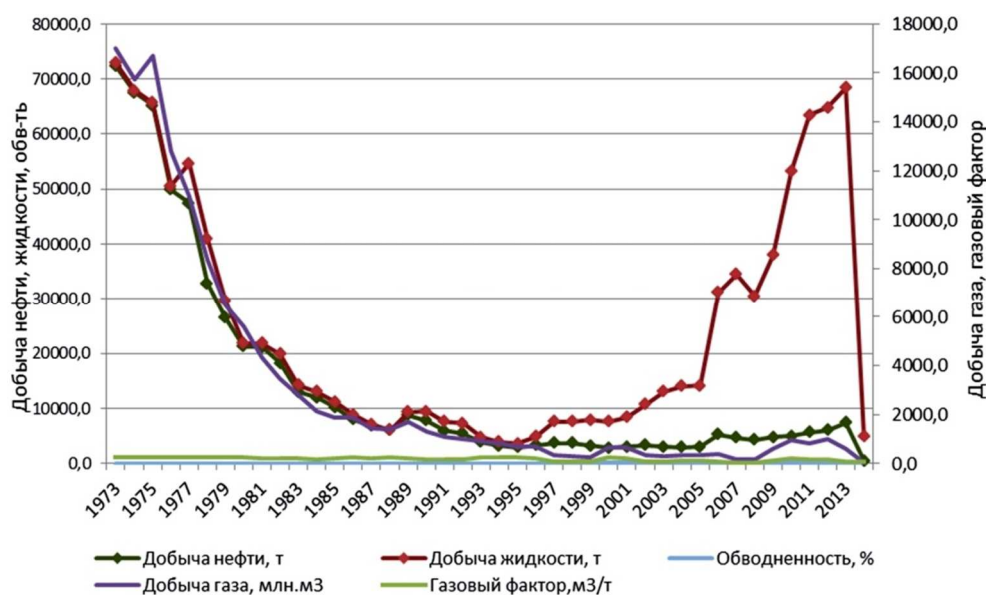


Рисунок 6 – Показатели эксплуатации скважины № 110

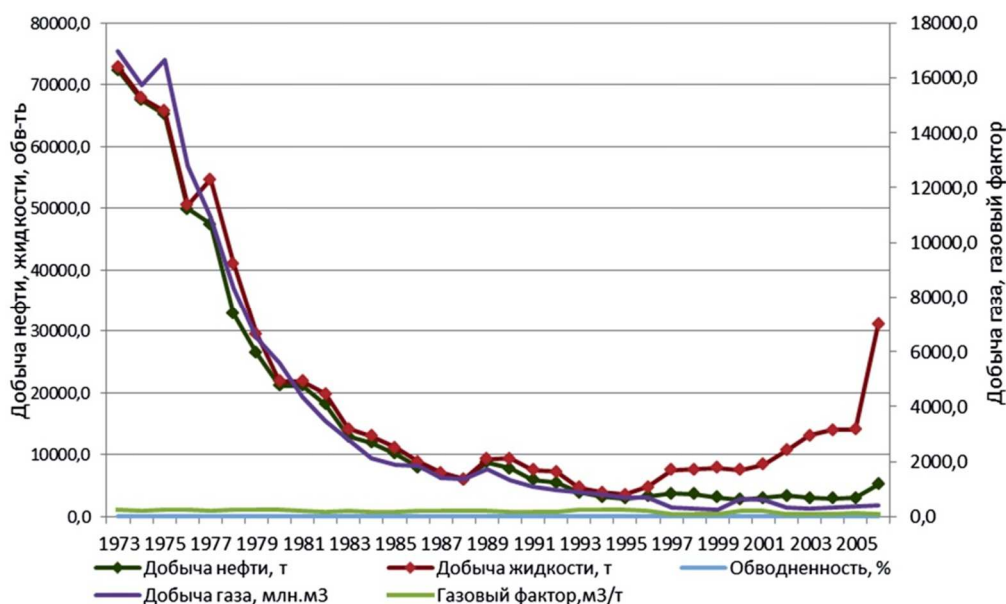


Рисунок 7 – Показатели эксплуатации скважины № 115

В 1976–1977 гг. по скважине проводился ряд глинокислотных обработок, которые на 2–4 месяца замедлили темпы снижения устьевых давлений и дебитов, при этом скачкообразно снижалась обводнённость. С января 1992 года скважина находится в наблюдательном фонде. По скважине добыто 123,6 тыс. тонн нефти, 302,1 тыс. тонн жидкости, 27,7 млн м³ газа.

Скважина № 135 (рис. 8) эксплуатирует II-ую пачку кумского горизонта через щелевой фильтр в интервале 4362–4521 м с июня 1974 года. Начальный дебит скважины через 4,0–5,7 мм штуцер составлял 105 тонн/сут. при обводнённости 0,4 % ($P_{буф} = 37,8$ МПа, $P_{зам} = 37$ МПа). До середины 1976 года буферное давление снизилось до 14,4 МПа. Темпы падения давления составили около 1 МПа в месяц. С конца 1974 года по скважине были увеличены темпы отбора нефти до 140–150 тонн/сут. Эти мероприятия привели к прорыву пластовой воды, в результате чего к концу года обводнённость составляла 72–74 %. Соответственно дебит нефти снижается до 27,8 тонн/сут. Ограничение отбора жидкости с начала 1976 года не привело к снижению обводнённости и увеличению дебита по нефти (дебит нефти 16,4 тонн/сут. при обводнённости 84 %).

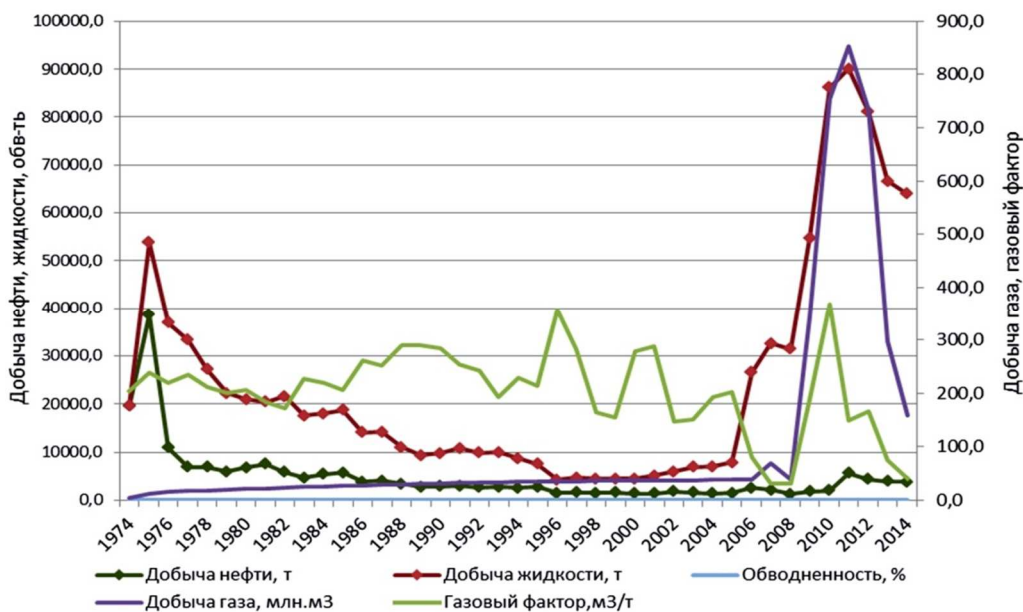


Рисунок 8 – Показатели эксплуатации скважины № 135

В июне и сентябре 1976 года по скважине были проведены глинокислотные обработки – наблюдалось непродолжительное увеличение дебита и устьевых давлений. В ноябре 1976 года в связи с резким падением буферного давления с 22 до 9,3 МПа в течение 40 дней произвели закачку в затрубное пространство 18 м³ лёгкой нефти при температуре 85 °С. Буферное давление выросло до 20 МПа, но к концу апреля 1977 года упало до 17,7 МПа при обводнённости 93,5 %. В апреле 1977 года по скважине произведено ограничение притока воды путём обработки призабойной зоны гипаном. В результате буферное давление выросло с 11,7 до 18 МПа, процент воды снизился до 69,7 %, а дебит нефти увеличился до 26,4 тонн/сут. Начиная с 1984 года, по скважине происходит равномерное снижение дебитов нефти при неизменных устьевых давлениях и проценте воды. Газовый фактор за весь период эксплуатации скважины № 135 практически не менялся (290–195 м³/т). В 2002–2003 гг. в скважине были проведены 4 глинокислотные обработки и в 2005 году ещё одна, при этом обводнённость продукции продолжала расти. В период 2009–2015 гг. неоднократно проводились обработки призабойной зоны скважины. В декабре 2016 года скважина работала с дебитом нефти 11,1 тонн/сут., жидкости – 182,5 тонн/сут. при обводнённости 93,9 %.

Суммарное количество добытой нефти составляет 201,4 тыс. тонн, жидкости – 1009,6 тыс. тонн, растворённого газа – 41,9 млн м³.

Скважина № 155 (рис. 9) вступила в пробную эксплуатацию в январе 1976 года после приобщения II-ой пачки к уже опробованной III-ей. Скважина фактически является дублёром ликвидированной скважины № 785. Щелевой фильтр был спущен на глубину 4373–4439 м. В начальный период опробования дебит жидкости на штуцерах 6,0–9,5 мм достиг 73,2 м³/сут., по нефти – 57,2 тонн/сут., обводнённость 22 %, $P_{буф} = 7,3$ МПа, $P_{зам}$ за 7 суток снизилось с 6,8 до 0,0 МПа. После закрытия скважины за 20 минут $P_{буф}$ выросло до 10,5 МПа, а $P_{зам}$ – до 5 МПа.

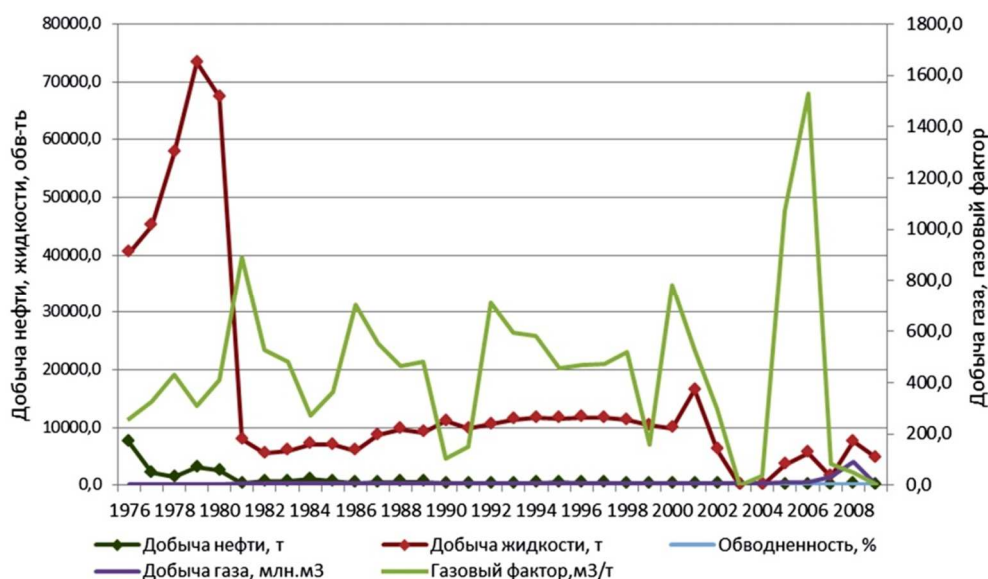


Рисунок 9 – Показатели эксплуатации скважины № 155

С целью выяснения потенциальной возможности нижней части кумского горизонта было принято решение произвести её испытание без установки цементного моста. В январе 1976 года скважина была перфорирована в интервале 4328–4362 м. Как и при освоении предыдущего объекта, устьевые давления не превышали 8–9 МПа с той лишь разницей, что $P_{зам}$ было выше $P_{буф}$ и держалось стабильно, независимо от отборов. При установленном режиме работы через штуцера 6,0–9,3 мм дебит нефти составлял 14–22,5 м³/сут. (в 2,5–3,0 раза ниже предыдущего), дебит воды вырос до 85–90 м³/сут., а обводнённость выросла в 4 раза и составила 80–88 %.

Скважина № 155 была введена в эксплуатацию с обводнённостью 84 %, дебит нефти составлял 14–17,9 тонн/сут., соответственно дебит жидкости составлял около 100 тонн/сут. В июле 1976 года на скважине проведена глинокислотная обработка. $P_{буф}$ выросло с 4 МПа до 18 МПа, дебит нефти увеличился до 29,1 тонн/сут., обводнён-

ность снизилась до 77,8 %. Однако уже к концу года произошло снижение дебита и рост обводнённости до 87,6 %. В мае 1977 года провели попытку ограничения воды гипаном. В результате получили кратковременное повышение $P_{буф}$ до 18 МПа, которое уже в следующие 2 недели снизилось до 8 МПа, дебит по нефти уменьшился до 5 тонн/сут., а обводнённость выросла до 96–97 %. Ограничение отборов штуцерами 2,0–3,2 мм привело к повышению $P_{буф}$ до 10,5–11,5 МПа, резкому снижению отбора жидкости до 28–63 тонн/сут. и снижению дебита нефти до 0,8–2,5 тонн/сут. С 1981 года скважина работает с постоянно снижающимся дебитом по нефти и ростом обводнения, $P_{буф}$ остаётся неизменным, оставаясь в диапазоне 1,2–2,2 МПа. Газовый фактор изменялся в пределах 106–891 м³/т. К июлю 2009 года дебит нефти составлял 0,31 тонн/сут., жидкости 22,9 тонн/сут., обводнённость продукции достигла 98,7 %. С августа 2009 года скважина находилась в бездействии, а с октября 2010 года переведена в наблюдательный фонд. В итоге по скважине добыто 26,2 тыс. тонн нефти, 517 тыс. тонн жидкости, 9,8 млн м³ растворённого газа.

Анализируя в отдельности работу каждой скважины, можно отметить, что разработка месторождения в начальный период проводилась с чрезвычайно высокими отборами нефти, что привело к преждевременному прорыву воды в значительную часть продуктивных отложений и привело практически по всем скважинам к снижению нефтяных дебитов при нарастающей обводнённости.

В 2016 году из кумского горизонта добыто 4,3 тыс. тонн нефти, 68,9 тыс. тонн жидкости, обводнённость продукции составляет 93,7 %. Средненесуточный дебит единственной действующей скважины (№ 135) по нефти равен 11,1 тонн/сут., по жидкости – 177,3 тонн/сут.

По состоянию на 01.01.2017 г. накопленная добыча нефти по кумскому горизонту составляет 1143 тыс. тонн, жидкости – 3160 тыс. тонн, текущий КИН – 0,463. Оценка выработки запасов нефти по кумской свите показана в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка выработки запасов нефти по кумской свите (P_{2km} , P_{g2b})

Показатели	Кумская свита (P_{2km} , P_{g2b})
Геологические запасы нефти (категория C_1), тыс. тонн	2471
Извлекаемые запасы (категория C_1), тыс. тонн	1218
Принятый коэффициент нефтеизвлечения (категория C_1), доли ед.	0,493
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	1143
Степень выработки НИЗ (категория C_1), %	93,9
Средняя обводнённость, %	93,7
Годовая добыча нефти в 2014 году, тыс. тонн	4,3
Темп отбора от НИЗ (категория C_1), %	0,4
Текущий КИН (категория C_1), доли ед.	0,463

Рассматривая историю пробной эксплуатации залежи в целом, необходимо отметить, что темп отбора нефти из залежи во многом определяется временем ввода скважин в пробную эксплуатацию. До января 1973 года в пробной эксплуатации находилась только скважина № 90 с дебитом 100 тонн/сут. С вводом скважины № 110 в январе 1973 года, скважины № 115 – в ноябре 1973 года и скважины № 135 – в июне 1974 года происходит наращивание добычи безводной нефти.

В октябре 1974 года с началом обводнения скважины № 115 заканчивается безводный период добычи нефти. В 1975 году происходит прорыв воды по скважинам №№ 90 и 135, начинается снижение добычи с 460 до 264 тонн/сут., а в 1976 году начинается активное обводнение залежи, которое к 1978 году достигает 71–75 %.

Начальный период разработки вплоть до середины 80-х годов характеризуется резким снижением пластового давления в залежи – давление в пласте снизилось более чем на треть от своего начального значения. Темпы падения давления по скважинам различны, что обусловлено изменением величин проницаемости коллекторов по площади и наличием слабопроницаемых локальных зон. Неравномерное снижение пластового давления вызывало по отдельным скважинам в разные временные периоды увеличение газовых факторов.

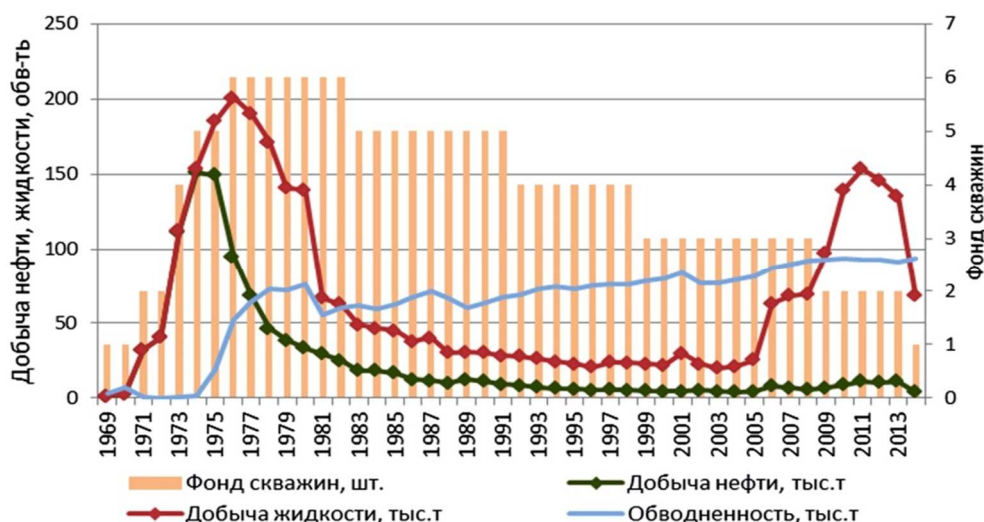


Рисунок 10 – Динамика основных технологических показателей разработки (кумский горизонт)

С 1974 года динамика добычи нефти представляет собой монотонно снижающуюся кривую.

В 1979 года разбуривание залежи заканчивается, т.к. ввод каждой новой скважины в эксплуатацию вносил определённые изменения в режим работы уже эксплуатирующихся скважин. Добыча нефти в 1979 году снизилась до 111 тонн/сут., снижение связано с интенсивным обводнением залежи. В 1979–1983 гг. темпы снижения добычи нефти составляли 5–7 тыс. тонн/год. В течение следующих лет снижение добычи нефти продолжалось с темпом около 1 тыс. тонн/год. При этом обводнённость довольно продолжительное время находилась в пределах 65–75 %.

В это же время происходит, вероятно, некоторая стабилизация давления с незначительными отклонениями в сторону роста или снижения (оценить достоверно динамику давления невозможно ввиду отсутствия реальных замеров). И это, в свою очередь, отражается на снижении и выравнивании значений газового фактора, значения которого, в принципе, находились в пределах 210–270 м³/т в течение всей истории разработки.

В целом же динамика газового фактора отвечает условиям упруговодонапорного режима, который определяет замкнутая гидродинамическая система, обладающая большим запасом упругой энергии.

Отбор от извлекаемых запасов, числящихся на Госбалансе, составляет 93,5 % при текущей обводнённости 93,7 %, достигнут КИН – 0,461 (утверждённый – 0,493).

В настоящее время залежь разрабатывается одной фонтанной добывающей скважиной (№ 135). Среднегодовой дебит скважины за 2016 год по жидкости – 175,5 тонн/сут., нефти – 10,5 тонн/сут.

Учитывая сложность строения, низкую проницаемость коллекторов и технические сложности эксплуатации кумской залежи, её разработку можно признать эффективной.

Пластовое давление

Отсутствие прямых замеров пластовых давлений на стадии пробной эксплуатации и разведки месторождения объясняется особенностью залегания коллектора в зоне аномально-высоких пластовых давлений. Динамика пластового давления Георгиевского месторождения представлена на рисунке 11.

Было довольно затруднительно останавливать скважины на исследования по техническим условиям: несмотря на значительные отборы (рис. 12 и 13), начальные буферные давления по скважинам достигали 38–42 МПа (при этом давление опресовки эксплуатационных колонн составляло 40–50 МПа). В этой ситуации из-за опасности смятия колонн скважины не останавливались по 2–3 года после их введения в

эксплуатацию. Водяные скважины переливали с небольшим избыточным давлением на устье. Но после их остановки давление достигало опасных пределов, и регистрация кривой восстановления давления прекращалась. В других случаях определение пластового давления осложнялось слишком медленным его восстановлением.

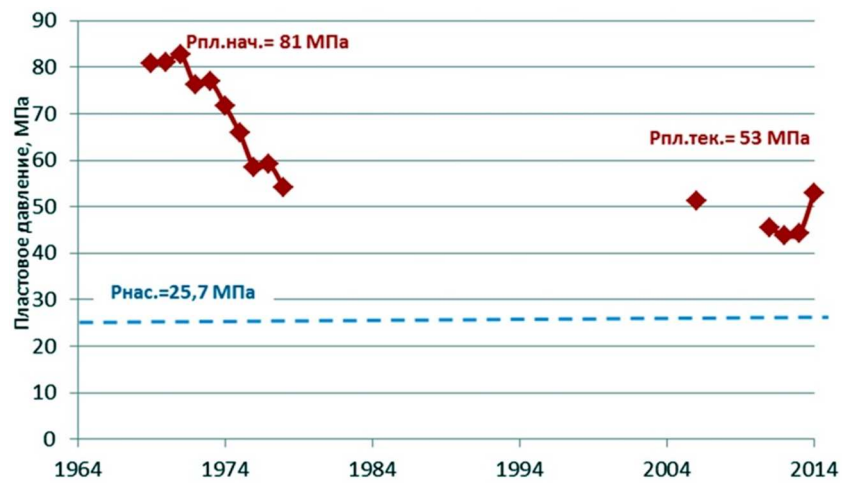


Рисунок 11 – Динамика пластового давления Георгиевского месторождения

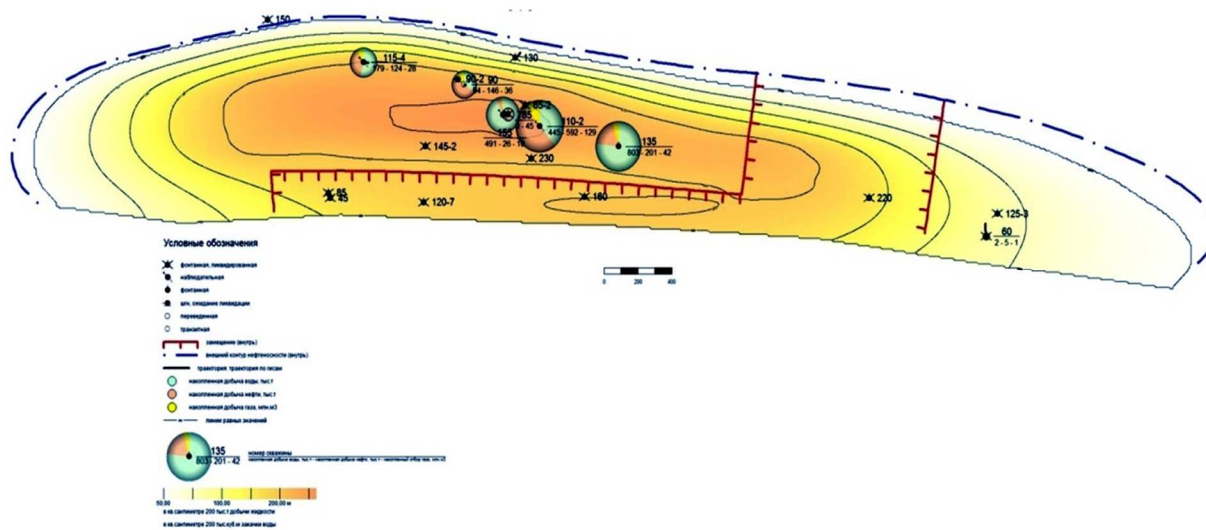


Рисунок 12 – Карта накопленных отборов по состоянию на 01.01.2017 г. Георгиевское месторождение (кумский горизонт)

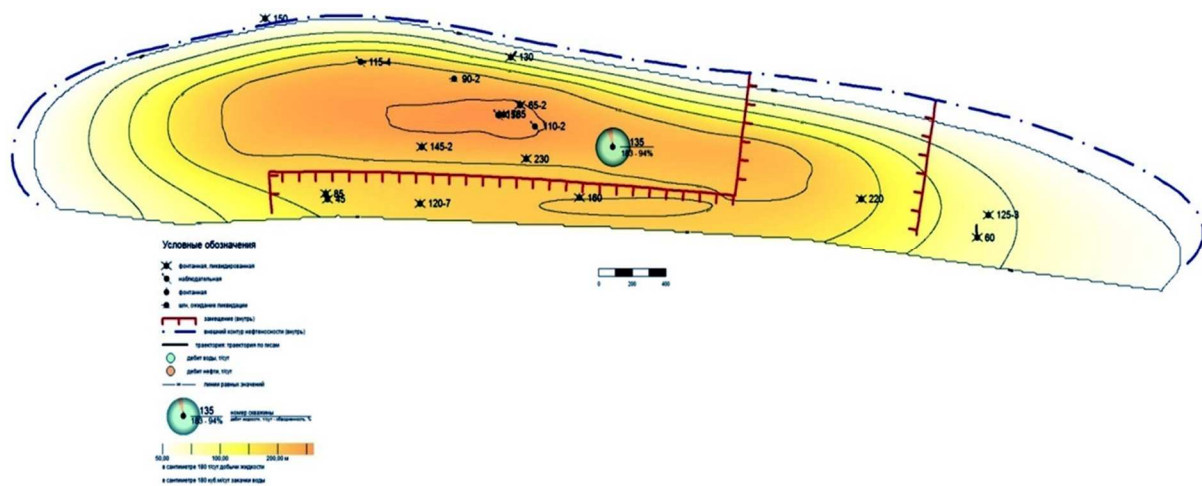


Рисунок 13 – Карта текущих отборов по состоянию на 01.01.2017 г. Георгиевское месторождение (кумский горизонт)

Поэтому о величине начального пластового давления приходится судить лишь косвенно. Сделано предположение, что до вступления залежи в эксплуатацию во всей системе кумского горизонта оно было одинаковым. При обработке КВД по скважинам № 60 (1969 г.) и № 70 (1970 г.) были определены величины начального пластового давления – 80,9 и 81 МПа соответственно. На их основе получено среднее значение начального пластового давления – 81 МПа.

По имеющимся данным можно сказать, что если в начальный период значения давлений по скважинам единичные и значительно различаются, то уже к 1975 году практически выравниваются, что может указывать на хорошую гидродинамическую связь в зоне эксплуатационных скважин и позволяет производить расчёт текущего пластового давления, рассматривая залежь как единую гидродинамическую систему.

Весь период эксплуатации и до настоящего времени залежь разрабатывалась на естественном режиме без организации системы по поддержанию пластового давления. Текущее пластовое давление (53 МПа) ровно в два раза выше давления насыщения (25,7 МПа).

Майкопская серия

Вскрывшая майкопские отложения Георгиевского месторождения в сентябре 1960 года скважина № 455 (рис. 14), имела начальный дебит нефти 22,2 тонн/сут. и обводнённость 4,5 %. Спустя 2 года обводнённость выросла до 27 %, а дебит нефти снизился до 9,3 тонн/сут. В следующем году по техническим причинам скважина была остановлена на КРС, но так и не была введена в эксплуатацию. За 4 года из скважины отобрано 11,5 тыс. тонн нефти, 14,1 тыс. тонн жидкости и 5,5 млн м³ растворённого газа. С октября 1963 года скважина в наблюдательном фонде. По состоянию на 01.01.2017 г. скважина ликвидирована.

По причине отсутствия других скважин залежь майкопа не разрабатывалась до 1983 года.

Введённая в эксплуатацию в марте 1983 года скважина № 80 (рис. 15) вскрыла майкопские отложения на глубине 1870–1888 м с начальным дебитом безводной нефти 3,5 тонн/сут. ($d_{ум} = 1,6$ мм, $P_{буф} = 5,5$ МПа, $P_{зам} = 15,4$ МПа). В апреле 1986 года скважина переведена на ШГН, а с декабря 1996 года – в наблюдательный фонд. Из скважины отобрано 4,5 тыс. тонн нефти, 5,2 тыс. тонн жидкости и 1,5 млн м³ попутного газа. С 01.11.2012 г. скважина в ожидании ликвидации.

Можно предположить, что начальное пластовое давление было равно гидростатическому – 18,6 МПа. Отсутствие замеров в процессе эксплуатации горизонта не позволяет оценить динамику его изменения. Однако учитывая, что отбор по майкопу составил 16 тыс. тонн (4,7 %) от начальных извлекаемых запасов и то обстоятельство, что горизонт не разрабатывается с 1996 года, естественным будет принять, что давление в залежи осталось близким к начальному (18,6 МПа).

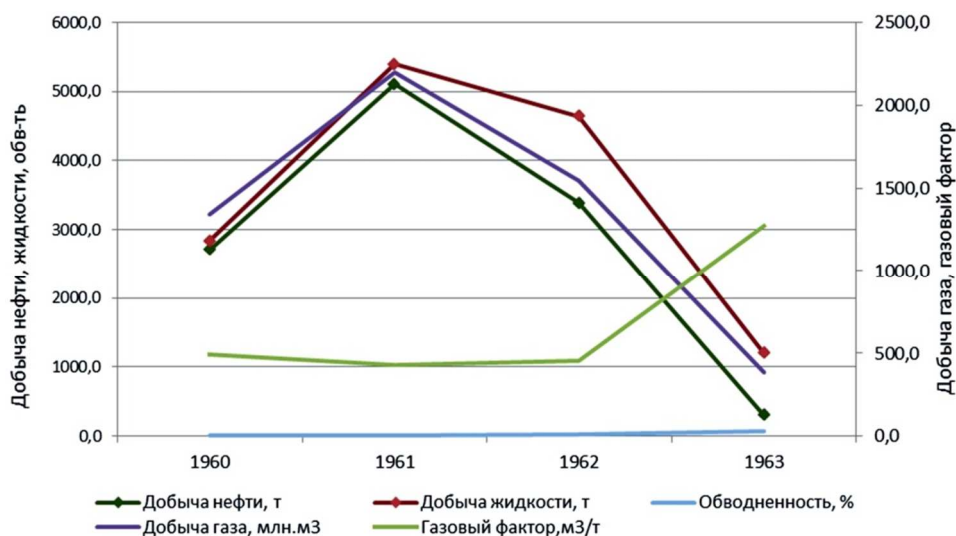


Рисунок 14 – Показатели эксплуатации скважины № 455

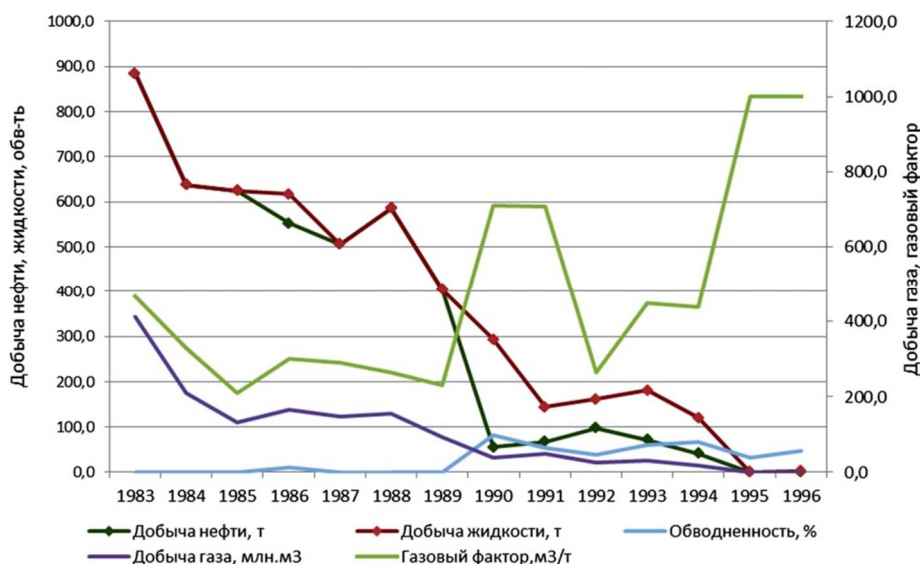


Рисунок 15 – Показатели эксплуатации скважины № 80 (майкопский горизонт)

С 1996 года горизонт не разрабатывается. По состоянию на 01.01.2017 г. накопленная добыча нефти составляет 16 тыс. тонн, жидкости – 19,1 тыс. тонн, текущий КИН – 0,016 (утверждённый – 0,338), отбор от НИЗ – 4,7 %. Динамика основных технологических показателей разработки показана на рисунке 16, а оценка выработки запасов нефти майкопская серия (P_3, P_{g3-N_1}) приведена в таблице 5.

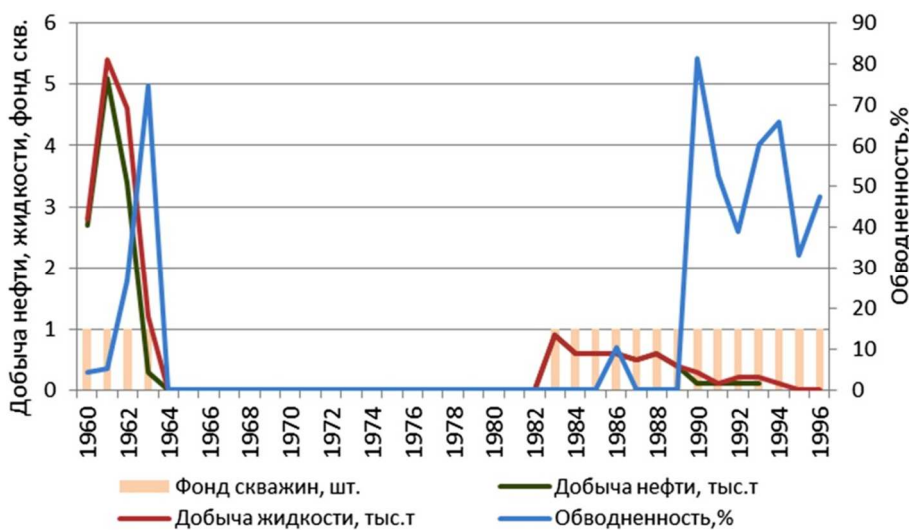


Рисунок 16 – Динамика основных технологических показателей разработки (майкопский горизонт)

Таблица 5 – Оценка выработки запасов нефти по майкопской серии (P_3, P_{g3-N_1})

Показатели	Майкопская серия (P_3, P_{g3-N_1})
Геологические запасы нефти (категория C_1), тыс. тонн	1012
Извлекаемые запасы (категория C_1), тыс. тонн	342
Принятый коэффициент нефтеизвлечения (категория C_1), доли ед.	0,338
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	16,1
Степень выработки НИЗ (категория C_1), %	4,7
Средняя обводненность, %	–
Годовая добыча нефти в 2014 году, тыс. тонн	–
Темп отбора от НИЗ (категория C_1), %	–
Текущий КИН (категория C_1), доли ед.	0,016

Структура майкопских отложений требует детального изучения по причине недостаточности имеющейся информации. Подсчитанные в 1983 году и не утверждённые в ГКЗ, но принятые на баланс запасы нефти требуют пересчёта, т.к. большинство подсчётных параметров брались по аналогии с одновозрастными отложениями Восточно-Краснокумского месторождения.

Для оценки реальных добывных возможностей майкопских отложений необходимо произвести их доразведку, вскрыв данный массив новыми скважинами и выполнив комплексные исследования и испытания, сделать выводы о его доразработке.

Карта накопленных отборов по состоянию Георгиевского месторождения (майкопская серия) по состоянию на 01.01.2017 г. показана на рисунке 17.

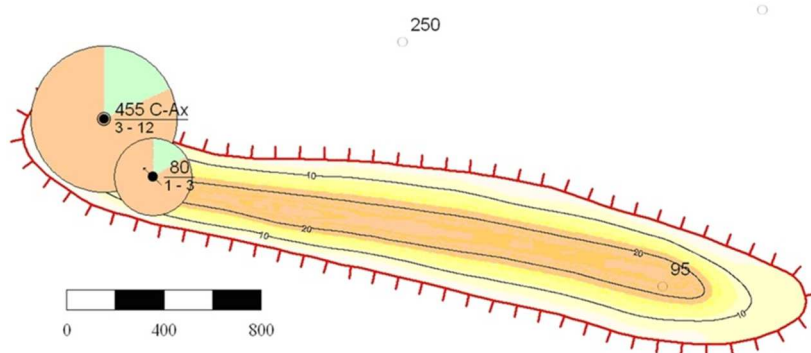


Рисунок 17 – Карта накопленных отборов Георгиевского месторождения (майкопская серия) по состоянию на 01.01.2017 г.

Обоснование рекомендаций по доразработке Георгиевского месторождения

В настоящее время на Георгиевском месторождении пробурены 44 скважины, в эксплуатации на нефть находилось 7. По состоянию на 01.01.2017 г. в действующем фонде одна скважин (№ 135), числящаяся на кумском объекте.

Таким образом, Георгиевское месторождение вырабатывается очень низкими темпами в последние годы (0,3–0,7 %). При сохранении существующей системы разработки не может быть достигнуто проектное значение коэффициента нефтеотдачи (обводнённость добываемой продукции – 94 % при отборе лишь 74 %). Майкопский горизонт не разрабатывается. Прогнозные расчёты технологических показателей разработки, произведённые с использованием построенной гидродинамической модели, свидетельствуют о не достижении утверждённого значения КИН – 0,438. За весь срок разработки добывается 1207 тыс. тонн нефти при КИН = 0,355.

В целях оптимизации существующей системы разработки с использованием ГДМ рассмотрено проведение различных геолого-технических мероприятий по существующему фонду: забуривание вторых стволов из существующих скважин в сочетании с бурением новых скважин.

Карты размещения скважин эксплуатационных объектов приведены на рисунках 18 и 19. Основные исходные данные для расчётов технологических показателей разработки приведены в таблицах 6 и 7.

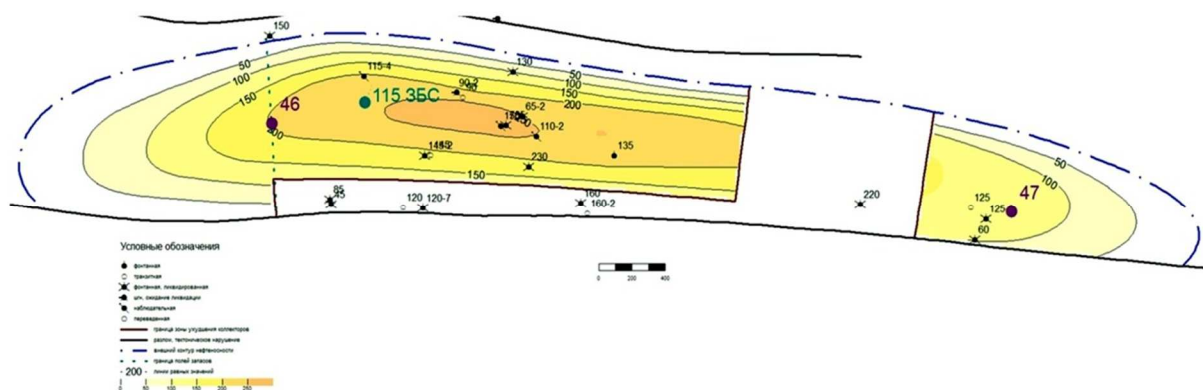


Рисунок 18 – Карта размещения скважин (кумский горизонт)

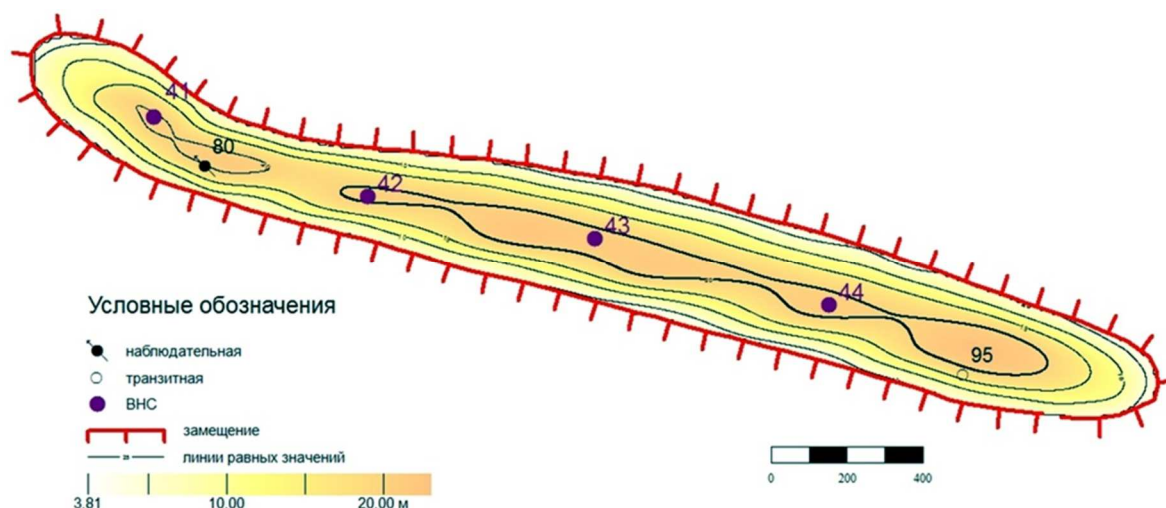


Рисунок 19 – Карта размещения скважин (майкопский горизонт)

Таблица 6 – Основные исходные технологические характеристики расчётного варианта разработки Георгиевского месторождения (кумский горизонт)

Характеристики	Расчётный вариант разработки
Режим разработки	упруговодонапорный
Система размещения скважин	избирательная
Расстояние между скважинами, м	700
Плотность сетки, га/скв.	4,5
Коэффициент охвата процессом вытеснения, доли ед.	0,704
Критерии отключения добывающих скважин: – обводнённость скважин, %	98
Коэффициент использования фонда скважин	1,0
Коэффициент эксплуатации скважин	0,98
Принятая компенсация отбора закачкой, %	–
Фонд скважин добывающих	4
Число скважин для бурения	2
Бурение вторых стволов	1

Таблица 7 – Основные исходные технологические характеристики расчётного варианта разработки Георгиевского месторождения (майкопский горизонт)

Характеристики	Расчётный вариант разработки
Режим разработки	упруговодонапорный
Система размещения скважин	фактическая
Расстояние между скважинами, м	400
Плотность сетки, га/скв.	21,9
Коэффициент охвата процессом вытеснения, доли ед.	0,713
Критерии отключения добывающих скважин: – обводнённость скважин, %	98
Коэффициент использования фонда скважин	1,0
Коэффициент эксплуатации скважин	0,98
Принятая компенсация отбора закачкой, %	100
Фонд скважин добывающих	4
Число скважин для бурения	4
Бурение вторых стволов	–

Остановимся подробнее на описании планируемых мероприятий по эксплуатационным объектам.

Применение периодической эксплуатации скважин в случае, если по геологическим, техническим или технологическим причинам эксплуатация скважин в непрерывном режиме невозможна или нецелесообразна.

Кумский горизонт находится в разработке с 1969 года. За весь период эксплуатации на объекте работало 7 скважин, по состоянию на 01.01.2017 г. одна скважина (№ 135) находится в действующем фонде.

Выработка запасов категории C_1 : бурение бокового ствола в скважине № 115 и бурение одной новой скважины; запасы категории C_2 : бурение новой скважины в 2022 году.

Майкопский горизонт находится в разработке с 1960 года. За весь период эксплуатации на объекте работало 2 скважины (№ 455 С-Краснокумской и 80), по состоянию на 01.01.2017 г. объект не разрабатывается.

Бурение одной новой скважины в 2019 году, организация ППД в скважине № 80 в 2021 году, бурение новых скважин в 2022, 2023 и 2024 гг.

Местоположение точек бурения новых скважин и боковых стволов следует уточнять перед бурением на основе текущего анализа выработки запасов.

Объёмы закачки воды и фонд нагнетательных скважин необходимо уточнять ежегодно на основе текущего анализа энергетического состояния эксплуатационных объектов и объёмов подтоварной воды соседних месторождений.

При необходимости формирования очагового заводнения осуществлять его путём перевода единичных добывающих скважин под закачку с учётом текущего состояния разработки и особенностей геологического строения.

Технологические показатели разработки

Кумский горизонт

Запланировано бурение двух новых скважин и одно ЗБС.

Накопленная добыча нефти к концу разработки составит 1678 тыс. тонн, КИН – 0,493 (утверждённый – 0,493), фонд скважин: добывающих – 4.

Майкопский горизонт

Накопленная добыча нефти к концу разработки составит 342 тыс. тонн, КИН – 0,338 (утверждённый – 0,338), фонд скважин: добывающих – 4, нагнетательных – 1.

В целом по месторождению

Разработка месторождения с учётом сложившихся условий на 01.01.2017 г. Накопленная добыча нефти к концу разработки – 1223 тыс. тонн, КИН – 0,277, фонд скважин: добывающих – 1.

С учётом обоснованных мероприятий: бурение семи новых скважин, одного бокового ствола и организацию ППД на майкопском горизонте, накопленная добыча нефти к концу разработки составит 1977,1 тыс. тонн, КИН – 0,448, фонд скважин: добывающих – 8, нагнетательных – 1.

Литература:

1. Приказ МПР РФ № 61 от 21.03.2013 г. Методические рекомендации по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. – М., 2013.
2. РД 153-39.0-047-00. Регламент по созданию постоянно-действующих геолого-технологических моделей нефтяных месторождений.
3. РД 153-39-007-96. Регламент составления проектных технологических документов разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений.
4. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений / Министерство энергетики Российской Федерации, Федеральное Государственное учреждение «Экспертнефтегаз». – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2014.
5. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Промсвещение-Юг», 2011. – 603 с.

6. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
7. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
8. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
9. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика: монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
10. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
11. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа: учебное пособие. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
12. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах : учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
13. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
14. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 267 с.
15. Березовский Д.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка физико-химических моделей и методов прогнозирования состояния пород-коллекторов // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 84–86.
16. Двурдуга А.В., Ншуты Мвизерва Иве. Построение геологической и гидродинамической моделей Владимирского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 266–280.
17. Захарченко Е.И., Захарченко Ю.И. Применение марковских моделей к анализу разработки нефтегазовых месторождений и оценке дебитов скважин // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 170–172.
18. Куренков В.В. Построение трёхмерной геологической модели на примере литологии Вынгапуровского месторождения // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года): в 5 томах: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 108–110.
19. Скуба Д.А., Колбунов М.Г., Савенок О.В., Соловьёва В.Н. Вероятностная модель массивных залежей нефти в верхнекаменноугольных и силурийско-девонских карбонатных отложениях Тимано-Печорской провинции // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 1. – С. 54–65.
20. Теплюк А.М., Савенок О.В. Оценка перспектив доразведки многопластового Южно-Удмуртского месторождения на основе уточнения геологической модели и опытно-промышленная разработка эксплуатационных объектов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 3. – С. 121–143.

References:

1. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation № 61 of 21.03.2013. Methodical recommendations on designing the development of oil and gas fields. – М., 2013.
2. RD 153-39.0-047-00. Regulations on creation of permanent geological and technological models of oil fields.
3. RD 153-39-007-96. Regulations for drafting design technological documentation for the development of oil and oil and gas fields.
4. Methodical instructions on creation of permanent geological and technological models of oil and gas fields / Ministry of Energy of the Russian Federation, Federal State Institution «ExPertneftegaz». – М. : JSC «VNIOENG», 2014.
5. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in construction of oil and gas wells: textbook for university students. – Krasnodar : Prosveshchenie-South LLC, 2011. – 603 p.
6. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on the discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 volumes : manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremichuk R.S. Scientific bases and practice of the oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.

9. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Development of the naphtha and gas sverdlovin. Science and practice : monograph. – Lviv : Spole, 2018.– 476 p.
10. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of geophysical research during construction and operation of wells at oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 p.
11. Popov V.V., Bogush I.A., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Lavrentyev A.V. Search, exploration and exploitation of oil and gas fields : textbook. – Novocherkassk : South Russian State Pedagogical University (NPI), 2015. – 322 p.
12. Popov V.V., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical surveys and well work: a training manual. – Novocherkassk : Lik, 2017. – 326 p.
13. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremiychuk R.S. Oil and gas engineering for well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
14. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019. – 267 p.
15. Berezovsky D.A., Lavrent'ev A.V., Savenok O.V., Koshelev A.T. Development of the physico-chemical models and methods for forecasting the reservoir rocks condition // Oil industry. – 2014. – № 9. – P. 84–86.
16. Derduga A.V., Nshuti Mviserva, Ive. Construction of geological and hydrodynamic models of the Vladimirskeye field // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 266–280.
17. Zakharchenko E.I., Zakharchenko Y.I. Application of the Markov models to the analytical study of the oil and gas field development and the assessment of well production rates // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2 at 2 pm: Development of oil and gas fields. – Part 1. – P. 170–172.
18. Kurenkov V.V. Building a three-dimensional geological model on the example of lithology of the Vyngapurovskoye field // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International Scientific-Practical Conference (March 31, 2017): in 5 volumes: collection of articles / Under the general editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 1: Forecast, prospecting and exploration of oil and gas fields. Oil and gas field geology. Exploration and field geophysics. – P. 108–110.
19. Scuba D.A., Kolbunov M.G., Savenok O.V., Solovyova V.N. Probabilistic model of massive oil deposits in the Upper Carboniferous and Silurian-Devonian carbonate deposits of the Timan-Pechora province (in Russian) // Petroleum engineer. – 2016. – № 1. – P. 54–65.
20. Teplyuk A.M., Savenok O.V. Estimation of the prospects for additional exploration of the multilayer Yuzhno-Udmurtskoye field on the basis of the geological model refinement and pilot development of operational facilities (in Russian) // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 3. – P. 121–143.

УДК 622.276.63

**ОБРАБОТКА ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА
С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН
НА ТАЛАКАНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

**BOTTOMHOLE ZONE TREATMENT
TO INCREASE WELL PRODUCTIVITY
ON THE TALAKANSKOYE FIELD**

Петрушин Евгений Олегович
заместитель начальника промысла,
ОАО «Печоранефть»
eopetrushin@yahoo.com

Арутюнян Ашот Страевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры прикладной математики,
Кубанский государственный
технологический университет
mereniya@mail.ru

Аннотация. Остаточные запасы нефти Талаканского месторождения находятся в низкопористых, малопроницаемых, зачастую трещиноватых карбонатных коллекторах осинского горизонта, а трещины, отмечающиеся по всему разрезу, имеют незначительную раскрытость. Это предопределяет актуальность промышленного применения на Талаканском месторождении в качестве одного из наиболее эффективных методов интенсификации притока нефти солянокислотных обработок. Суть проведённых расчётов показывает, что применение солянокислотных обработок призабойной зоны пласта на Талаканском месторождении является технологически эффективным методом для увеличения нефтеотдачи пластов, что можно использовать в дальнейшем для прогнозирования эффективности солянокислотных обработок на других скважинах.

Ключевые слова: анализ геолого-технических мероприятий; обычная солянокислотная обработка; пенокислотная обработка; нефтекислотная обработка; термокислотная обработка; типы ингибиторов и их свойства; техника и технология кислотных обработок скважин.

Petrushin Evgeniy Olegovich
Deputy head of oil and gas trade,
JSC «Pechoraneft»
eopetrushin@yahoo.com

Arutyunyan Ashot Straевич
candidate of technical sciences,
associate professor of applied
mathematicians department,
Kuban state technological university
mereniya@mail.ru

Annotation. The residual oil reserves of the Talakanskoye field are located in low-porous, low-permeable, often fractured carbonate reservoirs of the Osinian horizon, and the fractures occurring throughout the section have little openness. This predetermines the relevance of industrial use in the Talakanskoye field as one of the most effective methods for intensifying the oil inflow of hydrochloric acid treatments. The essence of the performed calculations shows that the use of hydrochloric acid treatments in the bottomhole formation zone in the Talakanskoye field is a technologically effective method for enhancing oil recovery, which can be used later to predict the effectiveness of hydrochloric acid treatments in other wells.

Keywords: analysis of geological and technical measures; conventional hydrochloric acid treatment; foam acid treatment; oil acid treatment; thermal acid treatment; types of inhibitors and their properties; technology and technology of acid treatment wells.

Анализ геолого-технических мероприятий
Кислотная обработка – это метод увеличения проницаемости призабойной зоны скважины путём растворения составных частиц породы пласта, а также инородных частиц, которыми загрязнены породы.

Выбор вида обработки зависит от минерального состава и свойств пласта, цели и очередности проведения кислотной обработки.

Обычная солянокислотная обработка

Применение простых кислотных обработок – наиболее распространённого вида кислотных обработок нефтяных скважин – направлено на воздействие растворами кислоты на продуктивные породы призабойной зоны скважин с целью повышения их производительности. Объектами для проведения простых кислотных обработок могут быть нефтяные, газовые, нагнетательные или сбросовые скважины.

Простые кислотные обработки, как правило, являются вторым видом после проведения кислотных ванн, если совокупность условий позволяет их осуществление.

Простые кислотные обработки являются методом первичного воздействия раствором кислоты на породы призабойной зоны скважины. Если кислотные ванны подготавливают поверхность ствола скважины в интервале продуктивных коллекторов, то цель простых кислотных обработок – воздействие растворами кислоты на породы призабойной зоны как для разработки порового пространства её, так и для выноса загрязняющих призабойную зону материалов за счёт увеличения проницаемости пород.

При этом необходимо иметь в виду, что первая простая кислотная обработка на скважине должна охватывать призабойную зону в непосредственной близости от стенок скважины. При последующих простых кислотных обработках скважины объёмы растворов кислоты должны увеличиваться в соответствии с необходимостью воздействовать на породы призабойной зоны по большому радиусу. Простые кислотные обработки могут применяться на скважинах с открытым забоем или обсаженным колонной. В зависимости от химико-минералогического состава пород при простых кислотных обработках применяют растворы соляной кислоты или смесь соляной и плавиковой кислот.

Технология и техника проведения простых кислотных обработок

Подготовка скважины с открытым стволом перед проведением простой кислотной обработки заключается в тщательной очистке забоя и стенок скважины. Очистка стенок открытого ствола скважины, как уже указывалось выше, производится сочетанием механических методов и кислотной ванны в зависимости от состояния стенок скважины. В скважинах с продуктивным пластом, обсаженным колонной, подготовка скважины сводится к очистке забоя от загрязняющей его пробки. В подготовительные работы перед проведением простой кислотной обработки входят: извлечение штанг, допуск фильтра до подошвы обрабатываемого пласта, приготовление необходимых объёмов раствора кислоты и продавочных жидкостей. Как и перед проведением кислотной ванны, весьма существенно определить гидродинамическое состояние скважины – коэффициент продуктивности, статический уровень, скорость накопления уровня и др. проведение простой кислотной обработки связано с проникновением раствора кислоты в поровое пространство призабойной зоны скважины. Поэтому в зависимости от гидродинамического состояния скважины подготовительные работы должны предусматривать подготовку на скважине определённых объёмов сырой дегазированной нефти, которая будет использоваться в процессе закачки кислоты.

Для проведения простых кислотных обработок объём раствора кислоты планируют для каждого месторождения и каждой скважины индивидуально. Строго теоретически обосновать назначение точного объёма кислоты для получения максимального эффекта от обработки конкретной скважины на сегодня очень трудно. Основные данные, которыми необходимо располагать для достаточного обоснованного расчёта объёма кислоты, как-то: радиус призабойной зоны с искусственно сниженной проницаемостью, пористость, проницаемость и химико-минералогический состав пород призабойной зоны, в большинстве случаев или полностью отсутствуют, или имеются частично.

Кроме того, до настоящего времени слабо изучены кинетика взаимодействия растворов кислоты с породой в условиях пористого пространства призабойных зон и характер разрушения пород под действием кислоты. Всё это создаёт большие трудности для научно-технического обоснования объёма кислоты для получения максимального эффекта от солянокислотной обработки. При отсутствии указанных данных для первичных обработок нефтяных коллекторов того или иного месторождения на основе большого опыта применения кислотных обработок нефтяных скважин на многих месторождениях с карбонатными коллекторами объём кислоты следует устанавливать из расчёта $0,4\text{--}1,5\text{ м}^3$ на 1 м мощности обрабатываемого пласта. При этом наименьшие объёмы ($0,4\text{--}1,0\text{ м}^3$) на единицу мощности целесообразнее планировать для менее проницаемых пород с малыми начальными дебитами скважин. Для скважин с высоким начальным дебитом и породами высокой проницаемости следует планировать $1,0\text{--}1,5\text{ м}^3$ раствора кислоты на 1 м мощности обрабатываемого пласта. При этом имеется в виду, что минимальный объём кислоты назначается при первой обработке призабойной зоны скважины с последующим наращиванием объёма до максимального при повторных обработках.

При одной и той же степени карбонизации характер распределения карбонатов в песчаниках отличается большим разнообразием. Поэтому только промышленный опыт может позволить установить, при каком объёме кислоты и её концентрации на данном месторождении происходит интенсивный вынос песка после кислотной обработки. Обработки первых скважин на конкретном месторождении рекомендуется начинать с применением малых объёмов 0,3–0,6 м³ на 1 м мощности при концентрации кислоты 14 %. При больших мощностях нефтеносного пласта необходимо обработку производить по отдельным интервалам, предупреждая возможность ухода кислоты в другие интервалы ствола скважины тем или другим способом (пакерование, гидравлические условия закачки и т.д.).

Объёмы кислоты при повторных обработках скважин, как правило, должны быть увеличены по сравнению с первой обработкой или вообще с предыдущей обработкой для расширения сферы распространения активной кислоты по пласту от ствола скважины. Типовая технология проведения простых солянокислотных обработок заключается в следующем. После подъёма подземного оборудования эксплуатационную колонну шаблонируют и промывают забой скважины методом обратной промывки. После этого трубы с шаблоном поднимают и в скважину на НКТ спускают пакер, после чего скважину промывают водой повторно. Пакер устанавливают на 10–20 м выше верхних отверстий интервала перфорации, а ниже пакера спускают «хвост» НКТ такой длины, чтобы концы труб находились на уровне нижних отверстий интервала перфорации. Пакер опрессовывается на полторакратное давление, ожидаемое при закачке кислоты. Раствор соляной кислоты концентрацией 12–15 % закачивают в скважину насосными агрегатами через НКТ при открытом затрубном пространстве и продавливают в пласт водой (давление продавки создаётся в зависимости от приёмистости скважины). Скважину закрывают на 16–24 часа для реагирования.

После реагирования кислоты пакер срывают и скважину промывают. Затем спускают насосное оборудование и пускают скважину в работу, после чего регулярно измеряют дебит скважины, обводнённость продукции и продолжительность эффекта. Для производства закачки рабочих жидкостей при простых кислотных обработках устье скважины обвязывают с агрегатом «Азинмаш-30» с добавочной ёмкостью на прицепе или агрегатом другого типа (АН-500, ЦА-320) и добавочными ёмкостями для кислотных растворов и продавочной жидкости (рис. 1).

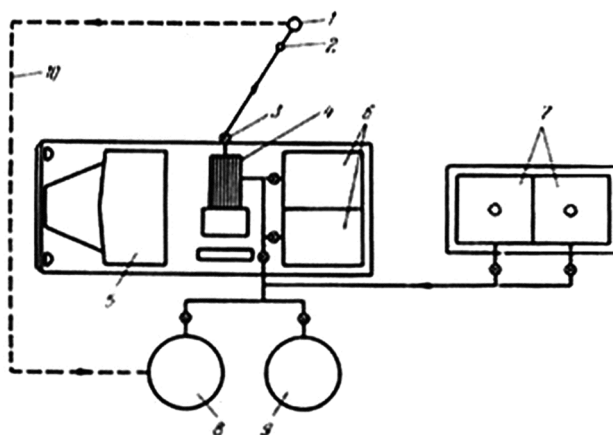


Рисунок 1 – Схема обвязки наземного оборудования при проведении простых кислотных обработок:
 1 – устье скважины; 2 – обратный клапан; 3 – задвижка высокого давления; 4 – насос 4НК-500; 5 – агрегат «Азинмаш 30А»; 6 – ёмкость для кислоты на агрегате; 7 – ёмкость для кислоты на прицепе; 8 – ёмкость для продавочной жидкости; 9 – ёмкость для кислоты; 10 – линия для обратной циркуляции

Количество и объём ёмкостей определяются, исходя из предусмотренных планом обработки данной скважины объёма и числа различных жидкостей: солянокислотного раствора, глиноуксусной, нефти для установления циркуляции или подкачки в затрубное пространство и для продавливания кислоты и воды. Перед закачкой рабочих жидкостей поднимают штанги и насос и допускают трубы до забоя. Герметизируется устье скважины. При значительном зумпфе в скважине, особенно если обработка

зумпфа кислотой вызывает возможное обводнение скважин за счёт установления взаимосвязи с водоносным горизонтом, зумпф заливают тяжёлым раствором хлористого кальция (бланкет) с плотностью около $1,30 \text{ г/см}^3$, лишь незначительно не доводя его до нижней границы намеченного под обработку интервала пласта. В этом случае нижний конец НКТ помещают над уровнем бланкета. Ещё надёжнее заливать зумпф гидрофобной высоковязкой эмульсией из этого же раствора хлористого кальция и нефти.

В целях достижения высокой вязкости эмульсии для смешения следует давать возможно большее количество водной фазы – 70–80 % и более. Одновременно это обеспечивает и получения наибольшей плотности эмульсии. Если качество нефти не позволяет получить стабильную эмульсию типа «вода в нефти», то следует повысить эмульгирующую способность нефти добавлением к ней нефтерастворимых материалов, содержащих большее количество поверхностно-активных веществ: мазута, окисленного петролатума, кислого газойля.

При обработке пласта и его интервала, нижняя часть которого находится в доплавающей части залежи или обводнена в процессе эксплуатации скважины и по организационным причинам нельзя провести изоляционные работы перед обработкой скважины, необходимо предусмотреть залив бланкета из гидрофобной эмульсии повышенной плотности до уровня, на 2,0–2,5 м выше водонефтяного контакта. Целесообразнее устанавливать этот бланкет после предварительной задавки собственной нефти в пределы всего пласта как намеченного к обработке, так и обводнённой его части. Если в процессе обработки возможно подвергнуть воздействию кислоты зону газовой шапки, необходимо перед закачкой кислоты заполнить скважину в пределах всего открытого ствола скважины такой же эмульсией типа «вода в нефти», применив в качестве водной фазы обычную пресную воду.

Порядок и гидравлические условия закачки рабочих жидкостей при кислотных обработках в большей степени определяются гидродинамическим состоянием скважины к моменту обработки. При этом учитываются назначение скважин и их конструкция. Условия закачки должны обеспечивать поддержание уровня кислоты в затрубном пространстве в период закачки и остановки на реагирование только в пределах интервала ствола скважины, выбранного для данной обработки. В пласте, обсаженном колонной, нарушение этих условий приведёт к подъёму кислоты выше верхних отверстий перфорации.

Помимо того, что при этом определённый объём кислотного раствора не поступит в обрабатываемый пласт, на металл обеих колонн (подъёмной и эксплуатационной) будет длительное время действовать эта кислота. В условиях открытого ствола скважины с мощностью, значительно превышающей мощность намеченного для обработки интервала, подъём кислоты приведёт к расходованию части её на реагирование с карбонатными стенками ствола выше интервала обработки, а при подходящих коллекторских свойствах и к уходу в пласт в интервалах, не являющихся объектами данной обработки. В последнем случае надёжнее было бы применить пакерование открытого ствола скважины. Это вполне осуществимо, но только в условиях, когда диаметр открытого ствола скважины равен диаметру обсадной колонны. Эта единственно рациональная для крепких карбонатных пород конструкция достигается тем, что продуктивный пласт вскрывается бурением только до его кровли.

После спуска и цементирования эксплуатационной колонны продуктивный пласт вскрывается долотом меньшего диаметра. Скорость задавливания кислоты в карбонатные породы определяется коллекторскими свойствами этих пород и перепадом давления. Во всех случаях целью является достижение максимального распространения её от ствола скважины в активном состоянии. Этой цели служит создание повышенного устьевого давления в скважинах первой группы (позволяющее заполнить нефтью всю скважину до перелива её затрубного пространства), а также форсированная подкачка нефти в затрубное пространство перед закачкой кислоты. Определённое ограничение рекомендуется только для первичной обработки малопроницаемых пористых карбонатов с тем, чтобы обеспечить более равномерную разработку приствольной части этих пород и лучше охватить всю мощность обрабатываемого пласта образованием первичных каналов растворения при первой обработке и развитием их при последующих обработках. В этих целях не рекомендуется повышать давление при

первой обработке выше 80–100 кг/см² на устье, добиваясь поглощения кислоты выдерживанием скважины под этим давлением в течение определённого времени. Только в случае отсутствия поглощения при таком выполнении закачки следует увеличивать устьевое давление закачки. При последующих обработках необходимо осуществлять все меры, обеспечивающие задавливание активной кислоты вглубь пласта, и, в первую очередь, увеличивать скорость закачки повышением давления. При обработке соляной кислотой карбонизированных песчаников необходимо уже при первой обработке стремиться достичь максимальной скорости продвижения кислоты по пласту, имея в виду большую скорость обработки её с рассеянным карбонатом с высокоразвитой удельной поверхностью.

При обработке нефтяных скважин с открытым стволом в интервале продуктивного карбонатного пласта время выдерживания на реагировании зависит от того, производится ли обработка с оставлением последней порции кислотного раствора в открытом стволе скважины для дополнительной разработки поверхности ствола или вся кислота задавливается в нефтеносный пласт. В первом случае сроки выдерживания могут быть приняты примерно в те же, что и для кислотных ванн, но уменьшение в 1,5–2,0 раза, если в предшествующий период полностью выполнены все требования к очистке поверхности ствола и забоя после очистных работ проведена кислотная ванна. Реагирование в стволе скважины в этом случае происходит уже в условиях более чистых пород продуктивного пласта, чем при кислотных ваннах, и выдерживание кислоты в стволе не преследует цели растворения и разрушения трудно растворимых загрязняющих материалов (цемент, глинистая корка и др.).

Окончательный срок реагирования устанавливается путём анализа проб выдавленного с забоя обратной промывкой кислотного раствора на остаточную кислотность, поскольку, как и в случае кислотных ванн, этот срок не может быть одинаков не только для скважин разных месторождений, но часто и для разных скважин одного и того же месторождения. Этот срок не только зависит от химико-минералогического состава пород, но и от диаметра открытого ствола скважины, например, при диаметре 168 мм срок реагирования должен быть в 2 раза меньше, чем при диаметре 325 мм и т.д. Он зависит также и от давления, под которым находилась кислота в стволе скважины во время реагирования. Так, если для исчерпывающего реагирования под давлением в 6–10 МПа и более при 20 °С в стволе скважины диаметром 219 мм потребуется 8–12 часов, то на скважинах более истощённых участков того же месторождения, где даже в результате интенсивной подкачки нефти в затрубное пространство не удаётся создать давление при реагировании более 1 МПа, потребуется, по крайней мере в 2,0–2,5 раза меньше времени, т.е. 4–6 часов.

При применении кислотного раствора замедленного действия (с добавлением уксусной кислоты) срок выдерживания соответственно увеличивается. При задавливании всего кислотного раствора в продуктивный пласт срок выдерживания может быть сильно сокращён. Выше приводились данные, показывающие, что скорость взаимодействия кислоты с породой находится в линейной зависимости от диаметра канала, в котором происходит это взаимодействие, т.е. от объёма кислоты на единицу реагирующей поверхности породы. С уменьшением диаметра канала в 2 раза скорость нейтрализации кислоты с породой увеличивается также в 2 раза.

Согласно изложенным представлениям о механизме химического разрушения при обработке пористых карбонатных пород по прекращению задавливания кислоты в пласт, кислота будет занимать созданные собственным растворяющим действием «каналы растворения» или «каналы разъедания». Это каналы наибольшего сечения в пласте, хотя диаметр их нам точно не известен. По результатам лабораторных опытов возможно образование таких каналов с диаметром 3, 5, 10 мм и даже более. Кроме того, часть кислоты задавливается и непосредственно в поровое пространство породы через стенки ствола скважины и каналов растворения, каверны трещины. Очевидно, что срок выдерживания кислоты на реагировании в этих условиях определяется возможным временем нейтрализации соляной кислоты в «каналах растворения» и в отдельных кавернах, так как время реагирования кислоты в каналах порового пространства, сечение которых обычно находится в пределах 0,02–1 мм, даже при высоких

давлениях должно исчисляться соответственно от нескольких секунд до нескольких минут. Для каналов с диаметром до 10 мм этот срок, вероятно, будет исчисляться уже 1–2 часов для условно высоких давлений, выше критических для CO_2 при температуре пласта. Это время рекомендуется как срок реагирования в условиях задавливания всей кислоты в пласт, представленной пористыми карбонатными породами. При трещиноватых карбонатных породах, особенно с зияющими трещинами, поглощавшими глинистый материал во время бурения, срок выдерживания следует увеличить в несколько раз вследствие затруднённости выщелачивания карбонатов из уплотнённой горным давлением поглощённой глины.

При обработке карбонизированных песчаников раствором соляной кислоты нет необходимости выдерживать скважину на реагировании – можно сразу приступить к извлечению отработанного раствора из пласта, так как в течение нескольких минут будет достигнута исчерпывающая отработка активности кислоты. Не следует видеть незавершённости процесса в том, что анализ первых проб извлечённого раствора покажет высокую активность кислотного раствора. Это так и должно быть, так как в приствольной части закачанный раствор будет находиться в зоне, полностью освобождённой от карбонатов в процессе фильтрации через неё головной части раствора. В случае задавливания при обработке кислоты нефтью трудно предупредить возможность попадания извлечённой активной части кислоты в систему сбора сырой нефти. Поэтому задавливание кислоты водой более предпочтительно, так как по завершении обработки позволит вынести и воду из подъёмной колонны, и отработанный раствор кислоты из пласта на дневную поверхность, минуя приёмные ёмкости и систему сбора нефти.

По окончании срока выдерживания скважины на реагировании производятся операции по переводу скважины на эксплуатацию. При этом если практикой установлено, что после обработки на забое скважины образуется пробка, производятся работы по очистке забоя обратной промывкой с закачкой нефти в затрубное пространство или помпой, если состояние скважины позволяет её применение.

При обработке карбонизированных песчаников соляной кислотой или с применением глиноуксусной кислоты, чтобы не допускать раствор с остаточной кислотностью в систему сбора сырой нефти, целесообразнее продавочную воду из НКТ извлекать свабированием, вызывая понижением уровня в трубах отток из пласта и отработанного раствора кислоты. Свабирование надо продолжать до поступления из пласта чистой нефти, после чего скважину вводят в эксплуатацию.

При обработках карбонатных пород, когда в качестве продавочной жидкости, как правило, применяют нефть, скважину после очистки забоя сразу вводят в эксплуатацию. Для более точного определения эффекта от обработки скважины кислотой желательно после обработки установить такой режим отбора жидкости, при котором динамический уровень был бы таким же, как и до обработки.

Повышение эффективности солянокислотной обработки с помощью её модификаций

Действие соляной кислоты сводится к её способности растворять известняки, карбонатные породообразующие минералы, входящие в состав продуктивных кварцевых песчаников в форме рассеянных включений. Эффективность данного вида работ зависит от того, насколько глубоко кислота прошла в пласт, так как при этом возрастает вероятность вовлечения в работу ранее не вскрытых целиков нефти, создаётся больше путей для притока нефти в ПЗП. При реакции соляной кислоты с известняками образуется CO_2 . Углекислый газ способствует увеличению скорости реакции, так как при его выделении в виде пузырьков происходит перемешивание раствора и продуктов реакции, вовлечение в процесс реакции новых порций неотработанного кислотного раствора. Из справочных источников известно, что при температуре взаимодействия + 20 °С и при давлении более 5,7 МПа реакция происходит без выделения углекислого газа, т.е. CO_2 остаётся в растворённом состоянии. Углекислый газ, образующийся в результате реакции, способствует увеличению скорости реакции, так как при выделении CO_2 в виде пузырьков происходит перемешивание раствора и продуктов реакции и вовлечение в процесс реакции новых порций неотработанного раствора

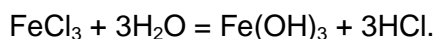
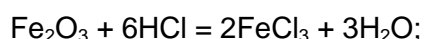
кислоты. С повышением давления растворимость углекислоты в растворе увеличивается. Отсюда следует, что при повышении давления реакция кислоты с породой замедляется, появляется возможность продавить раствор дальше в пласт.

Практика показала, что наилучшие результаты при солянокислотных обработках достигаются при обработках под давлением, что способствует снижению скорости взаимодействия соляной кислоты с карбонатными породами и продвижению её в активном состоянии в наиболее удалённые точки пласта. Ряд исследователей указывает, что с уменьшением объёма кислоты на единицу поверхности (т.е. уменьшением диаметра пор в породе) сокращается время нейтрализации кислоты карбонатными стенками каналов. В частности, согласно их данным, в каналах пористых пород диаметром в сотые доли миллиметра время нейтрализации кислоты при атмосферном давлении определяется сотыми долями секунды и даже при сравнительно увеличенных размерах каналов до 2,5 мм и более время нейтрализации составляет до 6–12 сек, что явно недостаточно, чтобы довести кислоту в активном состоянии в удалённую зону пласта.

При давлении свыше 5,7 МПа и температуре 20 °С (средняя температура против призабойной зоны пласта скважин НГДУ «Талаканнефть» 13 °С) скорость взаимодействия кислоты с породой при дальнейшем повышении давления практически не изменяется. Значит, при этих давлениях основную роль играет линейная скорость закачки кислоты, которая позволяет сократить время контактирования кислоты с породой, что способствует продвижению кислоты в активном состоянии вглубь пласта, увеличению степени охвата пород пласта за счёт высоких перепадов давления и вовлечению в работу малопроницаемых участков.

На скважинах Талаканского месторождения установлено, что развитие трещин, приводящих к гидроразрыву, происходит при давлениях 21,6–23 МПа. Поэтому при первичных солянокислотных обработках не следует создавать давлений свыше 12–15 МПа. При достижении этих давлений должна выдерживаться кислотная ванна в течение определённого времени (30–120–240 мин.), достаточного для снижения давления и разъедания наибольшего числа каналов, по которым впоследствии пойдёт закачиваемая кислота вглубь пласта, что даёт возможность повторных эффективных обработок в дальнейшем, когда кислота пойдёт по уже раздренированной сети каналов разъедания. В обратном случае существует вероятность создания преимущественной трещины, по которой в последующем при повторных обработках будет проникать кислота. При этом эффективность обработки резко падает.

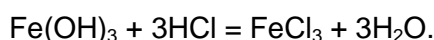
Единственными недостатками этого метода являются выдерживание в течение длительного времени солянокислотного раствора на металле эксплуатационной колонны и закачивание продуктов коррозии, выпадающих в форме гидратов (объёмистого мазеобразного осадка), вглубь пласта. При коррозии колонны труб протекают следующие реакции:



К тому же свободный хлористый водород, образующийся при гидролизе, выводится из сферы реакции при взаимодействии с карбонатной породой:



Это благоприятствует наиболее полному выделению всего окисного железа в осадок, так как сокращается путь реакции:



Оправданием такой обработки служит сниженный объём первой кислотной обработки 0,5–1,0 м³ на 1 м эффективной мощности пласта, продавочной жидкости (объём НКТ + 1–2 м³) и сравнительно высокий дебит, позволяющий извлечь наиболее полно отработанный кислотный раствор с продуктами реакции из пласта. К тому же добавление поверхностно-активных веществ облегчает обратный вынос нейтрализованной кислоты из пласта за счёт снижения поверхностного натяжения на границе «отработанная кислота – нефть обрабатываемого пласта», а ингибитор коррозии снижает степень коррозии колонны НКТ в несколько раз.

При дальнейших обработках стремятся закачивать солянокислотный раствор в объёме 2 м³ на 1 м вскрытой толщины пласта на повышенных скоростях закачки, иногда применяя для этого (при наличии свободной спецтехники) два агрегата с целью задавливания кислоты в активном состоянии на возможно большее расстояние от ствола скважины в призабойную зону пласта.

Пенокислотная обработка

При снижении давления закачки ниже критического необходимо дополнительное торможение химического взаимодействия между кислотой и породой и, в первую очередь, путём повышения давления в области реагирования. Применение кислотных пен решает эту задачу. При пластовых давлениях в залежах ниже гидростатических и, в особенности, с низкой проницаемостью предпочтительнее применение кислотных составов с повышенной проникающей способностью – газированные кислотные растворы с добавками ПАВ.

Наибольшая устойчивость кислотных пен при использовании в качестве дисперсной фазы воздуха была получена при добавлении в кислотный раствор 0,3–0,5 % марвелана или диссолвана, если дисперсная фаза – газ, то оптимальные добавки те же. С увеличением концентрации кислоты стабильность пен увеличивается. Применение кислотных пен позволяет создавать повышенные давления на устье скважины в связи с тем, что пены являются двухфазными структурированными упругими системами, что создаёт дополнительные сопротивления при фильтрации через пористую среду и создаёт условия для большего охвата кислотой продуктивной толщины пласта.

Эффект может быть получен как за счёт расширения интервала притока жидкости из пласта, так и за счёт обработки удалённых от ствола скважины участков пласта вследствие меньшей скорости растворения известняков в кислотной пене. При одинаковых исходных концентрациях глубина проникновения кислотной пены в пористую среду при искусственных условиях в 1,6–1,8 раз больше по сравнению с кислотой. При одинаковой остаточной концентрации пены, содержащую 25 % кислоты, можно прокачать на расстояние в 1,8 раз больше, чем пены с 15 %-ным содержанием соляной кислоты.

Таким образом, на скважине, плохо отозвавшейся на пенокислотную обработку с содержанием кислоты 15 %, можно рекомендовать повышение концентрации кислоты с доведением её до 25 %, что увеличит глубину проникновения в активном состоянии пены вглубь пласта. К тому же с увеличением концентрации раствора стабильность пены увеличивается. Однако эффективность пенокислотных обработок скважин зависит от многих случайных технических и технологических причин, а также от геолого-физических условий.

Именно поэтому приросты добычи нефти от обработок различных скважин неодинаковы и колеблются в широких пределах. Наибольшие приросты добычи нефти от пенокислотных обработок получены при значениях средневзвешенной пористости 4–7 %. Высокая эффективность обработок скважин с такой пористостью объясняется большими остаточными запасами нефти в участках с невысокой пористостью, т.е. малой текущей нефтеотдачей, вызванной низкой проницаемостью этих пород.

Небольшая эффективность обработок скважин, расположенных на участках пласта с пористостью менее 4 %, связана с небольшими запасами в них нефти, а также с усилением отрицательного влияния продуктов реакции на фазовую проницаемость для нефти. Участки же пласта с большими значениями пористости и проницаемости, в основном, дренированы, и нефть в них находится в плёночном состоянии. В этих условиях увеличение проницаемости за счёт пенокислотных обработок не приводит к значительному усилению притока нефти. Сравнение порометрической характеристики до и после кислотной обработки пенами показывает увеличение степени охвата пласта по толщине по сравнению с простыми кислотными обработками в 3 раза за счёт особых свойств пен: малая плотность, повышенная вязкость, структурные свойства.

Нефтекислотная обработка

Для обработки нефтяных пластов с трещиновато-пористо-кавернозным коллектором применяются нефтекислотные эмульсии. Обработки нефтекислотными эмуль-

сиями способствуют увеличению охвата пласта за счёт замедления скорости растворения карбонатов. Механизм действия нефтекислотных эмульсий заключается в следующем. Приготавливается эмульсия состава: 30–40 % соляной кислоты 14–16 %-ной концентрации и 70–60 % нефти, добавляется эмульгатор (например, диссолван) в количестве 0,1–0,2 %. Приготовленная эмульсия закачивается в пласт.

В результате механического (при проникновении в поры и трещины), а также температурного воздействия эмульсия разрушается, а кислота, которая была внутри нефтяной капли, освобождается и реагирует с породой. Эти нефтяные шарики, внутри которых находится соляная кислота, можно приготовить различных размеров от 1 мкм до 5 мкм.

Термокислотная обработка

Под термокислотной обработкой понимается процесс воздействия на породы пласта горячей соляной кислоты, причём нагревается кислота непосредственно на забое скважины за счёт теплового эффекта экзотермической (сопровождающейся выделением тепла) реакции между раствором кислоты и реагентным материалом – металлическим магнием, сплавом электрода и другим, загруженным в забойный реакционный наконечник:



Соответствующим подбором режима прокачки соляной кислоты через реакционный наконечник достигается такое время контактирования кислоты с реагентным материалом, какое требуется при конкретных условиях данной скважины (давление, температура) для того, чтобы кислота на выходе из наконечника на забой имела температуру 80–100 °С, израсходовав при этом на экзотермическую реакцию лишь часть своей активности, например, 3–4 % из начальной концентрации кислоты в 15 %. Процесс этот может быть построен в двух вариантах:

1) когда вся обработка ограничивается только производством указанной экзотермической реакции, т.е. когда на забой подаётся только горячая кислота (в этом случае обработку принято называть *термохимической*);

2) когда после завершения подачи на забой из реакционного наконечника горячей кислоты и израсходования на нагрев этой порции кислоты всего заряда реагентного материала в реакционном наконечнике, закачивается вторая порция кислоты обычной температуры для обработки пород пласта по технологии простой кислотной обработки под давлением (такую комбинированную обработку принято называть *термокислотной*).

Особенности действия горячей кислоты на забое скважины следующие:

а) чисто физическое действие высокой температуры, приводящее к освобождению поверхности забоя и порового пространства призабойной зоны от парафино-смолистых отложений, препятствующих фильтрации нефти из пласта в ствол скважины – при термохимическом варианте процесса, а также препятствующих взаимодействию кислоты обычной температуры с породами призабойной зоны при термокислотном процессе;

б) увеличение химической активности кислоты в отношении карбонатных пород пласта, способствующее интенсивному химическому разрушению пород преимущественно в интервале подвески реакционного наконечника. Такая интенсивная обработка создаёт условия для проникновения последующей порции холодной кислоты (термокислотный вариант) в призабойную зону и пласт преимущественно в пределах желаемого интервала, т.е. создаёт условия для поинтервальной обработки пластов большой мощности без применения пакерующих устройств;

в) увеличение химической активности кислоты в отношении материалов, загрязняющих фильтрующую поверхность ствола скважины, что способствует более совершенной очистке этой поверхности от загрязняющих её материалов – глинистая и цементная корка в нефтяных скважинах, продукты коррозии в нагнетательных скважинах. Для этих целей процесс осуществляется только по термохимическому варианту по схеме, аналогичной кислотной ванне.

Самостоятельное значение имеет применение горячей кислоты при кислотной ванне с целью интенсивного растворения материалов, загрязняющих забой и филь-

трующую поверхность открытого ствола скважины. Естественно, что в этом случае процесс осуществляется только по термической схеме. Наиболее активным веществом, выделяющим большое количество тепла, является металлический магний. Магний применяют в чистом виде или в виде его сплавов с другими металлами, например с алюминием. Такие сплавы называют электронами. Наиболее часто применяют магний в виде прутков диаметром 2–4 см и длиной до 60 см, а в некоторых случаях в виде стружки. Прутки магния загружают в специальные наконечники. Корпус и реакционная камера наконечника изготавливаются из НКТ диаметром 43 мм. Длина наконечника зависит от количества загружаемого магния.

В верхней части наконечника предусмотрены отверстия диаметром 8 мм для прохождения кислоты. После подъёма плунжера глубинного насоса через переводник соединяют верхнюю трубу наконечника со штангами и спускают его вовнутрь НКТ. Нижняя труба наконечника оканчивается полым конусом с размером под коническое седло нижнего клапана спущенного глубинного насоса. При посадке конуса наконечника на седло клапана перекрывается цилиндр насоса и тем самым исключается доступ в него как холодной, так и горячей кислоты. К нижнему концу наконечника привинчивается труба-фильтр диаметром 25 мм и длиной 2,5–3,0 м, к которой присоединяется термометр. В нижней трубе наконечника устанавливают пластину-решётку для удержания магниевых стержней и прокачки через неё горячей кислоты.

При термообработке соляная кислота через НКТ попадает внутрь реакционной камеры, где, прореагировав с магнием, в нагретом виде выбрасывается через фильтр насоса на стенки обрабатываемого интервала ствола скважины и задавливается в пласт. Как вариант термокислотной обработки производится термопенокислотная обработка. Суть её состоит в закачивании в пласт горячей пены. Соответственно технология этой обработки складывается из комбинации технологий вышерассмотренных обработок. Фактически, это пенокислотная обработка, которая производится при наличии магниевого реактора в скважине.

Реагенты, применяемые для приготовления кислотных растворов, условия хранения, влияние на организм человека

Товарная ингибированная соляная кислота (HCl) 8, 10, 12 %-ной концентрации поставляется в цистернах, перевозка и транспортировка производится специальными кислотными агрегатами. Хранение обязательно в гуммированных емкостях на площадках с обвалованием. Соляная кислота – раствор хлористого водорода в воде, на воздухе дымит, образуя туман. Пары соляной кислоты сильно раздражают дыхательные пути и слизистые оболочки, длительное воздействие паров соляной кислоты может вызвать катар дыхательных путей, помутнение роговицы глаз.

При воздействии на кожу вызывает ожоги и раздражение. Бифторид фторид аммония (БФА) ($\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF} + \text{NH}_4\text{F}$), его кислотность в пересчёте на плавиковую кислоту составляет 25 %, плотность 127 кг/м³. Несмотря на то, что использование БФА требует повышенного расхода соляной кислоты, для приготовления рабочего раствора (часть HCl участвует в реакции превращения БФА в HF), реагент особенно удобен в труднодоступных районах, т.к. может храниться и транспортироваться обычными методами.

БФА поставляется в полиэтиленовых мешках, вложенных в четырёх-пятыслонные бумажные мешки, массой не более 36 кг. БФА хранят в крытых складских помещениях, предохраняя от попадания влаги. Продукт токсичен. При концентрации в воздухе выше предельно-допустимой нормы (0,2 мг/м³) может вызывать нарушение деятельности центральной нервной системы, заболевания костных тканей, глаз кожных покровов.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – обычно используются дисолван, сульфонал, превоцелл, прогалит. Сульфонал поставляется в двойных крафт-мешках, а остальные ПАВ перевозятся и хранятся в стальных бочках. Жидкие ПАВ (дисолван, превоцелл) растворены в этиловом спирте, поэтому являются токсичными легковоспламеняющимися веществами.

Уксусная кислота ($\text{CH}_3\text{-COOH}$). Для приготовления рабочих растворов при солянокислотной обработке используются: кислота уксусная синтетическая; кислота лесо-

химическая техническая очищенная (ГОСТ 6968-76) плотностью 1049 кг/м³. Товарную уксусную кислоту перевозят и хранят в стальных гуммированных емкостях или в специальных алюминиевых емкостях или цистернах. Небольшие объёмы кислоты перевозят и хранят в стеклянной таре. Уксусная кислота оказывает сильно раздражающее и прижигающее действие на дыхательные пути, слизистые оболочки, кожные покровы.

Бензолсульфокислота (БСК) ($C_6H_6 = SO_3H$), с 92 % содержанием активной монобензолсульфокислоты. Плотность реагента – 1300 кг/м³. БСК – кристаллическая кислота, поставляется в оцинкованных бочках в количестве 115 кг, что соответствует 105 кг активной БСК. БСК оказывает раздражающее и прижигающее действие на слизистые оболочки и кожные покровы. В местах хранения химических реагентов необходимо установить таблички с указанием соответствующих реагентов и предупредительные знаки «Ядовито». Все перечисленные выше вещества должны храниться в хорошо вентилируемых закрытых помещениях.

Типы ингибиторов и их свойства

Ингибиторы – вещества, замедляющие скорость коррозии металлов. Поэтому ингибирование растворов кислот является необходимой операцией при любой кислотной обработке и предназначается для защиты от преждевременного коррозионного износа подземного и наземного оборудования скважин, эксплуатационных колонн, насосно-компрессорных труб, фильтров скважин, емкостей хранения и передвижных емкостей, насосных агрегатов, линий обвязки.

К ингибиторам коррозии предъявляются следующие требования:

- снижение скорости коррозии металла в 25 раз и более при малых концентрациях и невысокой стоимости;
- хорошая растворимость в используемых кислотах;
- невозможность выпадения в осадок после взаимодействия кислоты с карбонатами (нейтрализации);
- невозможность образования осадков с продуктами реакции кислоты.

На промысле применяется целый ряд ингибиторов, различающихся защитными свойствами.

Уникол ПБ-5 – темно-коричневая жидкость плотностью 1100 кг/м³. Полностью растворяется в соляной кислоте, но не растворяется в воде, особенно в сильноминерализованной. Рекомендуется применение уникола ПБ-5 при дозировке 0,05–0,1 %, при этом коррозия снижается в 15–22 раза.

Катапин-А – ионогенное катионоактивное ПАВ – один из лучших ингибиторов. При температуре до 80 °С и продолжительном воздействии на металл дозировка может быть увеличена до 0,2 %.

Реагент УФЭя – неионогенное ПАВ, обладает определёнными защитными свойствами. При дозировке в 0,1-0,3 % кратность снижения коррозии составляет всего 11–14. Поэтому самостоятельно может применяться только при отсутствии более активных ингибиторов.

Добавление ПАВ к рабочему раствору кислоты обеспечивает также более полное удаление из пласта отработанной кислоты и продуктов реакции за счёт снижения поверхностного натяжения на границе «нефть – отработанный раствор соляной кислоты», а также за счёт гидрофобизации поверхности породы пласта.

Техника и технология кислотных обработок скважин

На обустроенных нефтяных промыслах, на которых проектируются кислотные обработки скважин (СКО), как правило, сооружаются кислотные базы с соответствующими подъездными путями (включая железнодорожную ветку), насосными помещениями, лабораторией, гуммированными емкостями, складскими помещениями, душевыми и помещениями для бригады, а также при необходимости и котельными для подогрева растворов в зимнее время.

На скважины рабочий раствор доставляется в автоцистернах 4ЦР ёмкостью 9,15 м³ или УР-20 ёмкостью 17 м³. Для перевозки концентрированных неингибированных кислот ёмкости должны быть гуммированы. Для перевозки ингибированных кислот

достаточно покрытия этих емкостей химически стойкими эмалями. На скважинах часто используют передвижные ёмкости (на салазках) объёмом 14 м^3 , которые в зимних условиях работы оборудуют змеевиком для обогрева растворов паром. Для перекачки кислот используются только специальные кислотоупорные центробежные насосы с подачей от 7 до $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напора от 8 до 30 м .

Для закачки ингибированных растворов кислоты в пласт используется, например, специальный насосный агрегат на автомобильном шасси – «Азинмаш-30А» (рис. 2) с гуммированной резиной цистерной, состоящей из двух отсеков ёмкостью $2,7 \text{ м}^3$ и $5,3 \text{ м}^3$, а также с дополнительной ёмкостью на прицепе с двумя отсеками по 3 м^3 каждый. Агрегат снабжён основным трёхплунжерным горизонтальным насосом высокого давления 4НК500 одинарного действия для закачки кислоты в скважину. Насос имеет привод через специальную коробку от основного двигателя автомобиля мощностью 132 кВт . Конструкция силового насоса предусматривает сменные плунжеры диаметром 110 и 90 мм . Насосы обеспечивают подачу от $1,03$ до $12,2 \text{ л/с}$ и давление от $7,6$ до 50 МПа в зависимости от частоты вращения вала (5 скоростей от $25,7$ до 204 в мин.^{-1}). Наряду с этим основным агрегатом при кислотных обработках скважины используют цементировочные агрегаты ЦА-320М, а также насосный агрегат для гидро-разрыва АН-700.

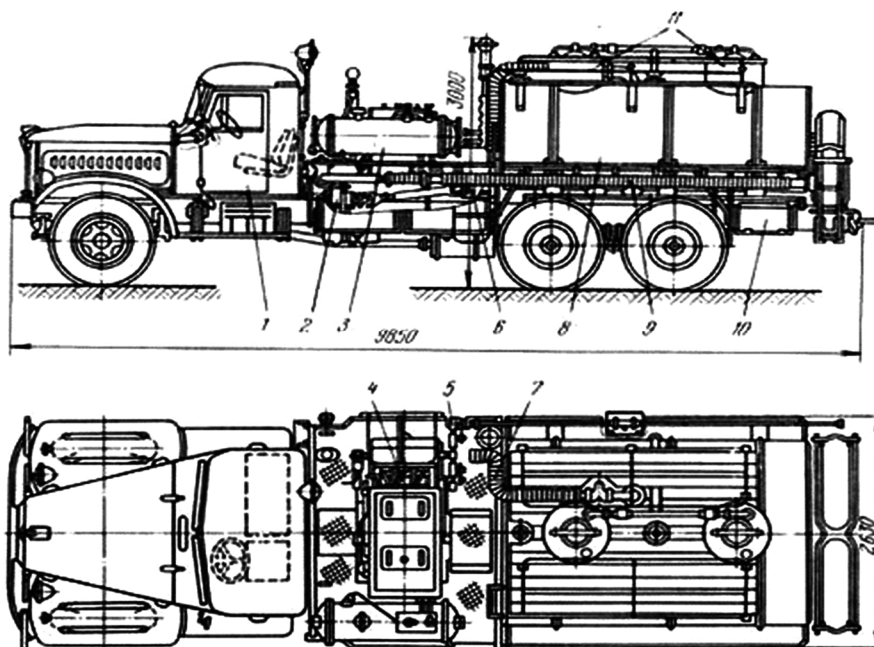


Рисунок 2 – Насосный агрегат для кислотных обработок «Азинмаш-30А»:

- 1 – кабина машиниста (пульт управления); 2 – коробка отбора мощности; 3 – ёмкость для реагента;
 4 – насос 4НК-500; 5 – выкидной трубопровод; 6 – редуктор; 7 – шланг для забора раствора кислоты из цистерны; 8 – цистерна для раствора кислоты; 9 – комплект присоединительных шлангов;
 10 – ящик для инструментов; 11 – горловина цистерны

Для предотвращения быстрого изнашивания агрегатов при прокачке даже ингибированного раствора кислоты необходима обязательная их промывка водой непосредственно после завершения работ. В промывочную воду желательно добавлять тринатрийфосфат в количестве $0,3-0,5 \%$ для лучшей нейтрализации остатков кислоты. Силовой насос агрегата «Азинмаш-30А» может забирать жидкость не только из емкостей, установленных на платформе агрегата, но и с помощью резиновых шлангов откачивать её из емкостей на автоприцепе и из передвижных емкостей.

При кислотных обработках используется дополнительно цементировочный агрегат ЦА-320М в качестве подпорного насоса, подающего жидкость на приём силового насоса агрегата «Азинмаш-30А». Кроме того, агрегат ЦА-320М со вспомогательным ротационным насосом низкого давления и двумя емкостями на платформе позволяет перемешивать растворы кислоты при введении в них различных реагентов, а также при необходимости

перекачки растворов из одних емкостей в другие. Ротационный насос используют также при приготовлении нефтекислотных эмульсий для закачки в поглощающие интервалы с целью расширения охвата обработкой большой толщины пласта.

Для создания более высоких скоростей закачки, если подачи одного агрегата при данном давлении оказывается недостаточно, используют два и более параллельно работающих агрегатов. Устье скважины при обработке под давлением оборудуется специальной головкой, рассчитанной на высокие давления, с быстросъёмными соединениями. Головка скважины с обязательным обратным клапаном и задвижкой высокого давления соединяется с выкидом насосного агрегата прочными металлическими трубами. Обычно в этих случаях используется оборудование для гидравлического разрыва пласта или пескоструйной перфорации.

При термокислотной обработке используются реакционные наконечники, изготавливаемые из обычных нефтепроводных труб диаметром 100 и 75 мм. Внутренняя полость трубы загружается магнием в виде стружки или в виде брусков, а её поверхность перфорируется мелкими отверстиями.

Нами проведен расчёт параметров солянокислотной обработки забоя скважин Талаканского месторождения соляной кислотой. После освоения скважин приток нефти не получен. С целью интенсификации притока была проведена солянокислотная обработка.

Дебит по скважине № 179 до проведения СКО был 34 тонн/сут., после проведения СКО увеличился на 17 тонн/сут. и составил 51 тонн/сут. Прирост составил 50 %.

Дебит по скважине № 169 до проведения СКО был 39,4 тонн/сут., после проведения СКО увеличился на 20,1 тонн/сут. и составил 59,5 тонн/сут. Прирост составил 51 %.

Дебит по скважине № 201 до проведения СКО был 27 тонн/сут., после проведения СКО увеличился на 13 тонн/сут. и составил 40 тонн/сут. Прирост составил 48 %.

В таблице 1 и на рисунке 3 приведена эффективность проведения СКО.

Таблица 1 – Эффективность проведения СКО

№ скважины	Дебит, тонн/сут.		Прирост, тонн/сут.
	до проведения СКО	после проведения СКО	
179	34	51	17
169	39,4	59,5	20,1
201	27	40	13

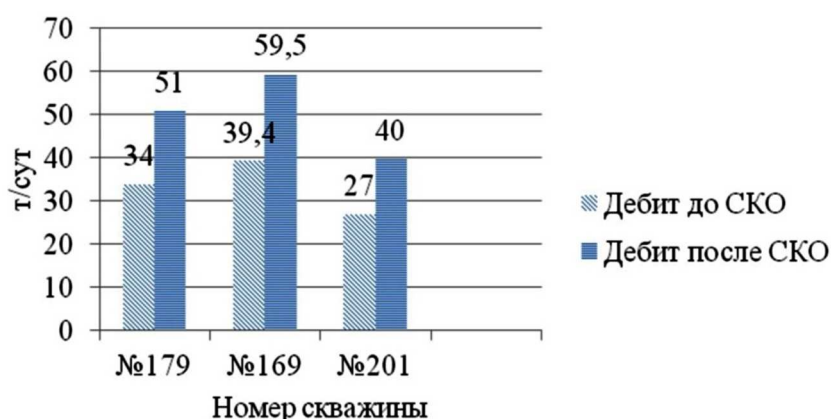


Рисунок 3 – Анализ эффективности проведения СКО

На основании показанных расчётов и полученных данных рекомендуется проводить обработку в 2 стадии:

- 1) для очистки и расширения трещин, находящихся вблизи ствола скважины, применять закачку небольшого объема (3–15 м³) соляной кислоты 10–15 % концентрации;
- 2) для обработки удалённых зон применять форсированную закачку (по окончании реагирования 10–15 % кислоты с породой) соляной кислоты повышенной концентрации (20–25 %) в объёме 20–30 м³.

Литература:

1. Показатели технологической схемы разработки Талаканского месторождения: отчёт о НИП / НГДУ «Талаканнефть». – Сургут, 2012. – 278 с.
2. Дополнение к проекту разработки Талаканского месторождения Республики Саха (Якутия): отчёт о НИП / ОАО «Сургутнефтегаз». – Сургут, 2014. – 76 с.
3. Булатов А.И., Кусов Г.В., Савенок О.В. Асфальто-смоло-парафиновые отложения и гидратообразования: предупреждение и удаление: в 2 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2011. – Т. 1–2.
4. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
5. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
6. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
7. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
8. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика : монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
9. Логинов Б.Г., Малышев Л.Г., Гарифуллин Ш.С. Руководство по кислотным обработкам скважин : учебник для ВУЗов – М. : Недра, 1966. – 396 с.
10. Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 203 с.
11. Савенок О.В. Оптимизация функционирования эксплуатационной техники для повышения эффективности нефтепромысловых систем с осложнёнными условиями добычи. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – 336 с.
12. Савенок О.В. Лаврентьев А.В., Березовский Д.А. Проектирование кислотной обработки пласта. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – 86 с.
13. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
14. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 267 с.
15. Башардуст Мохаммад Дауд, Очередыко Т.Б. Анализ применения солянокислотной обработки призабойных зон скважин залежей 302-303 Ромашкинского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 4. – С. 208–225.
16. Березовский Д.А., Яковлев А.Л., Кусов Г.В. Техника и технология проведения кислотного гидравлического разрыва пласта // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XXI Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (16 января 2017 года, г. Харьков). – Х. : научно-информационный центр «Знание», 2017. – Ч. 2. – С. 25–40.
17. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Анализ проведения солянокислотной обработки скважин на Средне-Макарихинском месторождении // Булатовские чтения : материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 30–38.
18. Березовский Д.А., Яковлев А.Л., Самойлов А.С. Анализ применения солянокислотной обработки призабойных зон скважин Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2017. – № 03. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2017/03/15.pdf>
19. Березовский Д.А., Кусов Г.В. Определение расчётных показателей процесса солянокислотной обработки в скважине № 23 Южно-Шапкинского месторождения // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 76–87.
20. Касем Мохаммед Яхья Хасан Гайлан, Очередыко Т.Б., Арутюнов Т.В. Обоснование работ по кислотной обработке карбонатных пластов Петропавловского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 3. – С. 189–207.
21. Кязимов Ф.К. оглы, Рзаева С.Д. кызы, Тулешева Г.Д. Экспериментальные исследования кислотного воздействия на неоднородные пласты // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 210–215.
22. Омельянюк М.В., Рогозин А.А., Леонов Я.А. Интенсификация добычи нефти для терригенных коллекторов с применением кислотных композиций // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 2. – С. 59–62.

23. Омельянюк М.В., Рогозин А.А., Квашина А.М. Технология проведения солянокислотной обработки на скважинах Лёвкинского месторождения // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 131–132.
24. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Особенности применения горизонтальных скважин при разработке Талаканского нефтегазоконденсатного месторождения // Сборник центра научных публикаций «Велес» по материалам Международной научно-практической конференции «I Весенние научные чтения» (30 мая 2015 года, г. Киев). – К. : Центр научных публикаций, 2015. – Ч. 2. – С. 35–40.
25. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Гидродинамические исследования при освоении скважин с помощью свабирования // Технические и технологические системы: Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – С. 266–275.
26. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Осложнения в процессе эксплуатации скважин Талаканского месторождения // Наука и технологии в нефтегазовом деле: сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию Кубанского государственного технологического университета и 25-летию кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Армавирского механико-технологического института (09–10 февраля 2018 г.). Секция 3 «Управление и мониторинг разработки месторождений нефти и газа» / ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар : ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – С. 144–146.
27. Петрушин Е.О., Арутюнян А.С. Анализ эффективности проведения оптимизации добывающих скважин, оборудованных УЭЦН, на Талаканском месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 2. – С. 201–223.
28. Сулейменов Н.С. Исследование процесса кислотного разрушения фильтрационных корок и участка кольматации кислотной обработкой // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. – С. 303–306.
29. Яковлев А.Л., Панцарников Д.С., Савенок О.В. Анализ методов воздействия на призабойную зону пласта в условиях Самотлорского месторождения // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 2/2017. – С. 36–51.
30. Яртиев А.Ф., Саетгараев Р.Х., Подалалов В.Б. Применение кислотной эмульсии в НГДУ «Бавлынефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 2. – С. 248–254.

References:

1. Indicators of the technological scheme of the Talakanskoye field development: report on NIP / NGDU «Talakanneft». – Surgut, 2012. – 278 p.
2. Addendum to the Talakanskoye field development project in the Republic of Sakha (Yakutia): report on NIP / ОАО «Surgutneftegas». – Surgut, 2014. – 76 p.
3. Bulatov A.I., Kusov G.V., Savenok O.V., Asfalto-resin-paraffin deposits and hydrate formation: prevention and removal: in 2 volumes : training session. – Krasnodar : Publishing House – South, 2011. – V. 1–2.
4. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology at the construction of the oil and gas wells : a manual for the students of the higher educational institutions. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie-South, 2011. – 603 p.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V. Underground overhaul of the oil and gas wells : in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
6. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on the discipline «Completion of the oil and gas wells»: in 4 volumes : manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Scientific basis and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
8. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Development of the naphtha and gas sverdlovin. Science and practice : monograph. – Lviv : Spole, 2018. – 476 p.
9. Loginov B.G., Malyshev L.G., Garifullin Sh.S. Guidelines for acid treatment of wells : textbook for universities – M. : Nedra, 1966. – 396 p.
10. Savenok O.V. Theoretical bases of oil and gas field development : textbook. – Krasnodar : «Prosveshchenie-South» LLC, 2011. – 203 p.
11. Savenok O.V. Optimization of the operation equipment functioning to increase the efficiency of the oilfield systems with the complicated production conditions. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013. – 336 p.
12. Savenok O.V., Lavrent'ev A.V., Berezovsky D.A. Acid treatment design. – Krasnodar : Publishing House – South, 2014. – 86 p.

13. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremiychuk R.S. Oil and gas engineering in the course of well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
14. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019. – 267 p.
15. Bashardust Mohammed Daoud, Ocheredko T.B. Analysis of application of hydrochloric acid treatment of bottomhole zones of deposits 302-303 of Romashkinskoye field // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2017. – № 4. – P. 208–225.
16. Berezovsky D.A., Yakovlev A.L., Kusov G.V. Technique and technology of acid hydraulic fracturing // Collection of articles of the Research and Information Center «Knowledge» based on the materials of the XXI International Conference «Development of science in the XXI century». (16 January 2017, Kharkiv). – X. : Research and Information Center «Knowledge», 2017. – P. 2 – P. 25–40.
17. Berezovsky D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. Analysis of the conduct of hydrochloric acid well treatment at the Sredne-Makarikhinskoye field // Bulatovskie readings : Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference (March 31, 2017): in 5 v. : collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 2: Development of oil and gas fields. – P. 30–38.
18. Berezovsky D.A., Yakovlev A.L., Samoilov A.S. Analysis of the application of the hydrochloric acid treatment of the bottom-hole zones of the Abdrakhmanovskaya area of the Romashkinskoye field // Vestnik student's science department of information systems and programming. – 2017. – № 03. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2017/03/15.pdf>
19. Berezovsky D.A., Kusov G.V. Determination of the estimated parameters of the hydrochloric acid treatment process in well No. 23 of Yuzhno-Shapkinskoye oilfield // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 2 at 2 p.: Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 76–87.
20. Kasem Mohammed Yahya Hasan Gaylan, Ocheredko T.B., Harutyunov T.V. Acid treatment of carbonate layers of the Petropavlovskoye field // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2017. – № 3. – P. 189–207.
21. Kazimov F.K. oglu, Rzaeva S.D. gizi, Tulesheva G.D. Experimental studies of acidic impact on heterogeneous layers // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 2 at 2 p.: Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 210–215.
22. Omelyanyuk M.V., Rogozin A.A., Leonov Y.A. Oil production intensification for the terrigenous reservoirs with the use of the acid compositions // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 2 in 2 p.: Development of oil and gas fields. – Part 2. – P. 59–62.
23. Omelyanyuk M.V., Rogozin A.A., Kvashina A.M. Technology of salt and acid treatment at the wells of the Lyovkinskoye field // Bulatovskie readings. – 2019. – V. 2: Development of oil and gas fields. – P. 131–132.
24. Petrushin E.O., Arutyunyan A.S. Features of horizontal wells in the development of the Talakan oil and gas condensate field // Collection of scientific publications «Veles» on the materials of the International scientific conference «I Spring Scientific Readings» (May 30, 2015, Kiev). – K. : Center for Scientific Publications, 2015. – Part. 2 – P. 35–40.
25. Petrushin E.O., Arutyunyan A.S. Hydrodynamic studies during well development with the help of swabbing // Technical and technological systems: Proceedings of the Eighth International Scientific Conference «TTS-16» (November 24-26, 2016) / FGBOU VO «KubGTU», KVVAUL named after A.K. Serov; under the general editorship of B.H. Gaitov. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – P. 266–275.
26. Petrushin E.O., Arutyunyan A.S. Complications in the process of exploitation of the Talakanskoye field squeeze // Science and Technology in Oil and Gas Industry: Collection of abstracts from the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Technological University and the 25th anniversary of the Department of Oil and Gas Fields Machinery and Equipment of the Armavir Mechanical and Nico-technological Institute (09–10 February 2018). Section 3 «Management and monitoring of oil and gas field development» / FGBOU VO «Kuban State Technological University». – Krasnodar : FGBOU VO Kuban State Technical University, 2018. – P. 144–146.
27. Petrushin E.O., Arutyunyan A.S. Analysis of the efficiency of optimization of production wells equipped with ESP installations at Talakanskoye oilfield (in Russian) // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2019. – № 2. – P. 201–223.
28. Suleimenov N.S. Research of the acid destruction process of the filtration crust and the site of the acid treatment colmation (in Russian) // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 3: Drilling of oil and gas wells. – P. 303–306.
29. Yakovlev A.L., Pantsarnikov D.S., Savenok O.V. Analysis of the bottomhole formation zone stimulation methods in the conditions of the Samotlor field (in Russian) // Oil. Gas. Innovations. – 2017. – № 2/2017. – P. 36–51.
30. Yartiev A.F., Saetgaraev R.H., Podavalov V.B. Acid emulsion application in NGDU «Bavlyneft» PJSC «TATNEFT» named after V.D. Shashin // Bulatovskie readings. – 2018. – V. 2 at 2 p.: Development of oil and gas fields. – Part 2. – P. 248–254.

УДК 622.276

**АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ РАЗРАБОТКИ
ВЛАДИМИРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**ANALYSIS OF THE CURRENT STATE
AND ECONOMIC EVALUATION OF DEVELOPMENT OPTIONS
FOR THE VLADIMIRSKOYE FIELD**

Дердуга Артём Вячеславович

техник отдела гидродинамического моделирования,
ООО «НК «Роснефть» – НТЦ»
avderduga@rnntc.ru

Аннотация. В статье приведён анализ текущего состояния и даны рекомендации по оптимизации системы разработки Владимирского месторождения. Представлено обоснование вариантов разработки по месторождению: первый вариант разработки (без изменений в проекте); второй вариант разработки (с бурением двух скважин и одного забуривания бокового ствола); третий вариант разработки (с бурением трёх новых скважин). Сделан выбор оптимального варианта разработки. Также представлена экономическая оценка вариантов разработки, рассчитаны технико-экономические показатели вариантов разработки и дан анализ чувствительности проекта.

Ключевые слова: текущее состояние разработки месторождения; обоснование вариантов разработки по месторождению; выбор оптимального варианта разработки; оптимизация системы разработки месторождения; экономическая оценка вариантов разработки; технико-экономические показатели вариантов разработки; анализ чувствительности проекта.

Derduga Artem Vyacheslavovich
Hydrodynamic modeling Technician,
LLC «Oil Company «Rosneft» –
Scientific and Technical Center»
avderduga@rnntc.ru

Annotation. The article provides an analysis of the current state and gives recommendations for optimizing the development system of the Vladimirskeye deposit. The rationale for development options for the field is presented: the first development option (no change in the design); the second development option (with the drilling of two wells and one side-hole drilling); the third development option (with the drilling of three new wells). The choice of the optimal development option is made. An economic assessment of development options is also presented, technical and economic indicators of development options are calculated, and an analysis of project sensitivity is given.

Keywords: current state of field development; justification of development options for the field; selection of the optimal development option; field development system optimization; economic evaluation of development options; technical and economic indicators of development options; project sensitivity analysis.

Текущее состояние разработки Владимирского месторождения

На Владимирском месторождении выделен один эксплуатационный объект в чокраском ярусе – пачка III1, на которой пробурена единственная скважина № 1. Температура пласта согласно замерным данным равняется 119,0 °С. Замер пластового давления, произведенный в процессе гидродинамических исследований, показал, что для залежи характерно наличие аномально высокого пластового давления (АВПД). Так, пластовое давление на глубине середины фильтра в скважине № 1 (3399,1 м) составило 62,4 МПа при коэффициенте аномальности в 1,87.

Бурение скважины № 1 было начато 05 мая 2007 года, закончено 11 октября 2007 года. Глубина забоя – 3520,0 м. К освоению скважины приступили 12 октября 2007 года. Простреляли пачку III2 чокраских отложений в интервале 3452,0–3453,5 м. В результате испытаний получен приток слаборазагазированной воды через штуцер 2,5 мм. С целью перехода на вышележащую пачку был установлен цементный мост в интервале 3432,0–3487,0 м. Простреляли пачку III1 чокраских отложений в интервалах 3403,0–3404,8; 3396,1–3399,2 и 3393,4–3394,8 м. В результате испытаний получен приток нефти и газа через штуцер 7,3 мм с дебитом по нефти 234,7 м³/сут, по газу 142965 м³/сут. После опробования скважина была введена в эксплуатацию 03 ноября 2007 г. на основании плана пробной эксплуатации, утвержденного Северо-Кавказским Управлением Госгортехнадзора РФ.

В первые месяцы работы (ноября–декабря 2007 г. и мая 2008 г.) по скважине добывалась практически безводная нефть (обводненность менее 1,0 %). Затем, за период с февраля 2008 по октябрь 2011 гг. фактическая обводненность скважины плано-

мерно выросла с 2,2 до 85,6 %. Дебит по нефти при этом снизился со 185,6 до 18,7 тонн/сут., по жидкости со 186,3 тонн/сут до 130,5 тонн/сут.

В октябре 2011 года в скважине № 1 выполнен дострел верхней части пачки в интервалах 3387,4–3390,8 м и 3393,7–3395,4 м, однако обводнённость после проведения операции выросла ещё больше и составила 97,6 %. Дебит нефти при этом был зафиксирован на уровне 2,8 тонн/сут., жидкости – 120,2 тонн/сут. Исследования, проведённые в ноябре 2011 года в остановленной скважине, подтвердили существовании перетока из нижней водоносной пачки III2, который образовался вследствие нарушения целостности цементного камня, после проведения перфорационных работ («встрянув» эксплуатационную колонну, ещё больше нарушили цементаж колонны). Проведённые в скважине ремонтно-изоляционные работы также не помогли восстановить добычу.

В 2012–2013 гг. скважина была остановлена из-за высокой обводнённости и практически не работала.

С ноября 2014 года в скважине бурится боковой ствол, работы были завершены в июле 2015 года. Простреляли пачку III чокракских отложений в интервалах 3387,0–3382,0 м и 3380,0–3375,0 м, скважина вступила в эксплуатацию с дебитом нефти 60,6 тонн/сут., дебит жидкости – 158 м³/сут., $d_{ум}$ – 6,5 мм. В июле–ноябре 2016 года выполнили КРС с целью ликвидации пробки в НКТ, РИР. В процессе выполнения ремонта выявлено смятие эксплуатационной колонны на глубине 3365,08 м.

По состоянию на 01.01.2017 г. накопленная добыча нефти составляет 166,0 тыс. тонн, жидкости – 295,0 тыс. тонн. Отбор от НИЗ составил 50,5 %, текущий КИН – 0,227 (утверждённый КИН – 0,450).

Карта накопленных отборов по пачке III1 приведена на рисунке 1, карта текущих отборов по состоянию на 01.01.2017 г. приведена на рисунке 2.

По скважине № 1 регулярно выполнялись гидродинамические исследования. Для анализа динамики пластового давления все замеры приводились к одной плоскости. Приведение осуществлялось к середине фильтра (абсолютная отметка минус 3399,1 м). Так, начальное пластовое давление, зафиксированное в ноябре 2007 года,

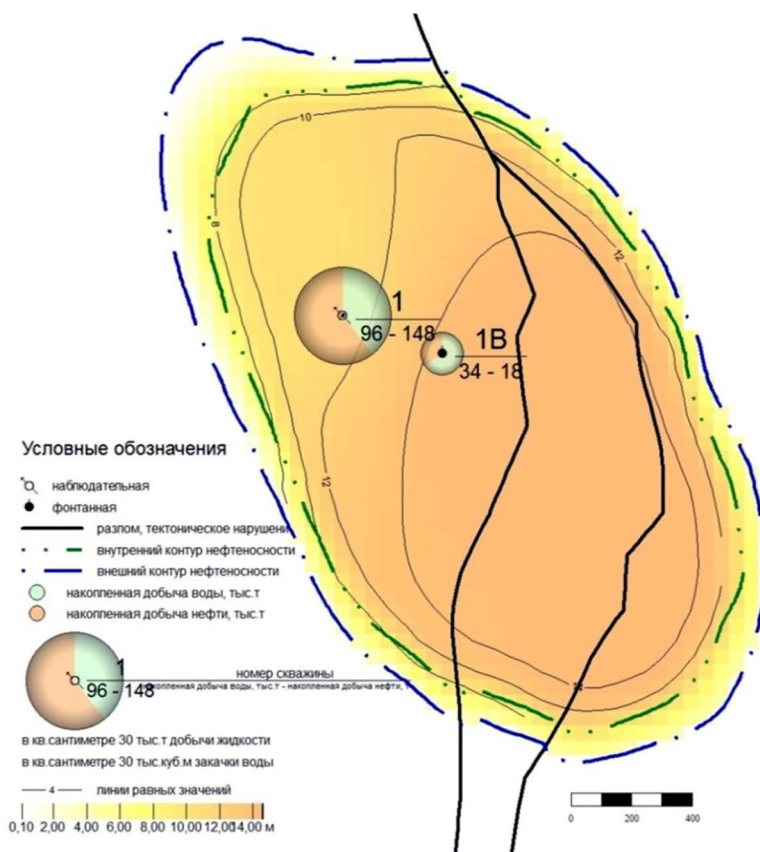


Рисунок 1 – Карта накопленных отборов по состоянию на 01.01.2017 г. Владимирское месторождение (чокрак, пачка III1)

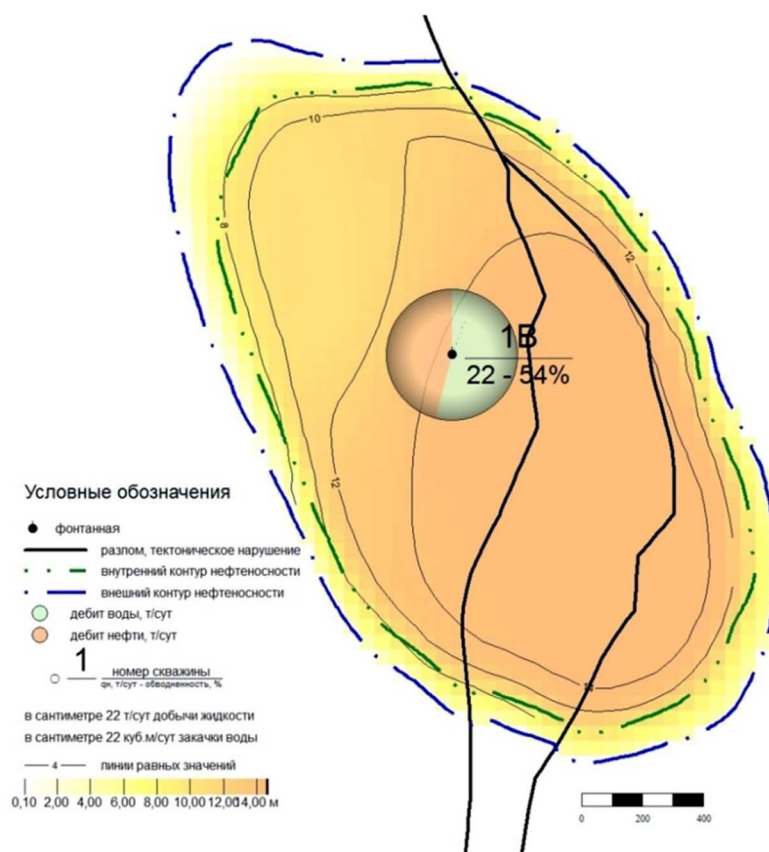


Рисунок 2 – Карта текущих отборов по состоянию на 01.01.2017 г. Владимирское месторождение (чокрак, пачка III1)

составило 62,4 МПа. В дальнейшем, по мере отбора пластовых флюидов, давление постоянно снижалось. Динамика пластового давления скважины № 1 Владимирского месторождения приведена на рисунке 3. Замер, произведённый в августе 2011 года, показал, что давление упало до величины 30,6 МПа, что на 0,9 МПа ниже давления насыщения (31,5 МПа). Затем в октябре 2011 года скважина была остановлена с целью проведения дострела. Исследования, проведённые в остановленной скважине, показали восстановление пластового давления до величины 39,3 МПа, затем до 46,5 МПа, т.е. выше отметки давления насыщения, что опять же связано с перетоком из нижележащей, водоносной пачки III2.

Последний замер пластового давления выполнен в июле 2015 года, текущее пластовое давление, замеренное в скважине № 1В, составило 53,6 МПа.

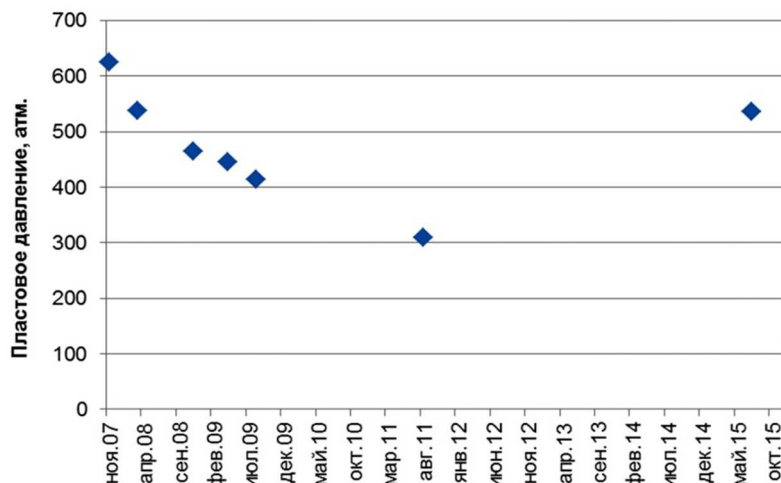


Рисунок 3 – Динамика пластового давления Владимирского месторождения (чокрак, пачка III1)

Характер выработки запасов из продуктивной залежи свидетельствует о том, что для наибольшего охвата разработкой залежей при наличии АВПД не имеет смысла дополнительное бурение плотной сетки добывающих скважин. Весь объём извлекаемых запасов может быть добыт при помощи 1–3 скважин, пробуренных в наиболее гипсометрически повышенные зоны в условиях преобладания в данной области нефтенасыщенных толщин с высокими значениями. Это подтверждается примерами месторождений-аналогов – Чумаковское, Южно-Морозовское. Эти месторождения характеризуются АВПД и относятся к Сладковско-Морозовской группе. Нефтегазоносными объектами на этих месторождениях также являются чокракские отложения, имеющие схожие геолого-физические характеристики. На Чумаковском месторождении было пробурено 3 скважины, но за весь период разработки практически работало 2 скважины, с помощью которых уже выработано 66,7 % начальных извлекаемых запасов по категории АВ1. На Южно-Морозовском месторождении практически вся нефть получена из пачки IV (99,0 %). Основная добыча нефти на этом месторождении приходится на скважину № 1 – 406,2 тыс. тонн (84,0 %).

Из истории разработки месторождений-аналогов прослеживается общий характер падения пластового давления. Это можно отследить на примере динамики падения давления Южно-Морозовского месторождения (рис. 4).

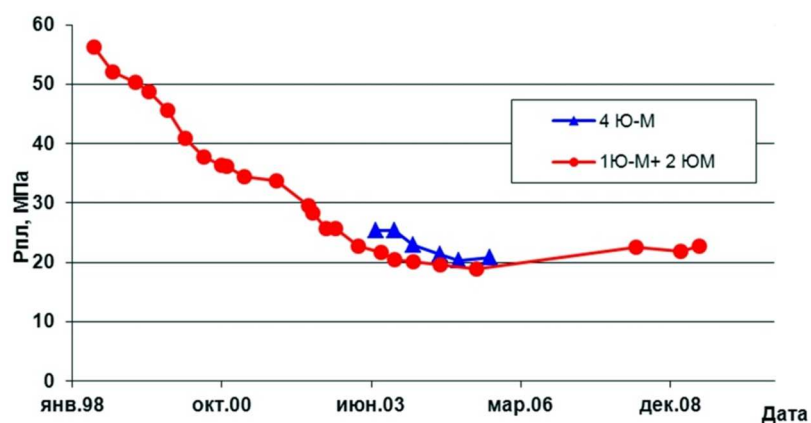


Рисунок 4 – Динамика пластового давления Южно-Морозовского месторождения

На графике видно, что давление на начальном этапе практически равномерно падает, а потом при давлении примерно 20,0 МПа стабилизировалось и даже начинает расти, что связано с уменьшением отборов жидкости и подпиткой воды из окружающих пород (самопроизвольное ППД). Появление воды в продукции скважин обусловлено двумя причинами: техногенным прорывом воды по заколонному пространству из водонасыщенных горизонтов, характеризующимся резким обводнением скважин за 1–3 месяца до 80,0–90,0 %; второй причиной обводнения является самопроизвольное ППД водой, отжимаемой из окружающих пород (глин), начинающийся при снижении пластового давления в продуктивном горизонте до значений на 20,0 % превышающем гидростатическое. В этом случае обводнение происходит плавно – достигает значений 80,0–90,0 % за 2–3 года. Основным осложнением в работе скважин является характерный для всей группы месторождений Сладковско-Морозовского региона прорыв воды по заколонному пространству из выше- или нижележащих водоносных пачек и обводнение скважин. Нефтенасыщенные и водонасыщенные пропластки чокракского горизонта характеризуются высоким давлением и ограниченным распространением. Отбор нефти приводит к интенсивному снижению пластового давления в продуктивном интервале, в то время как в водонасыщенных пластах в связи с отсутствием отбора давление равно начальному.

Упругий режим разработки залежи при неизменной температуре пласта предполагает чёткую прямолинейную зависимость между отборами углеводородов и пластовым давлением, т.е. предполагает определённую добычу углеводородов на единицу снижения пластового давления. Данная зависимость справедлива на начальном этапе

разработки месторождения, далее после поступления в пласт воды она нарушается. Таким образом, на начальном этапе залежь работает исключительно на упругом режиме, а затем происходит довытеснение нефти водой, что указывает на эффективную выработку запасов.

При увеличении обводнённости продукции давление начало восстанавливаться, что свидетельствует о том, что на Владимирском месторождении происходит подпитка водой из нижележащих водоносных горизонтов (из пачки III2 происходит прорыв воды в пачку III1, что подтверждено исследованиями), это приводит к поддержанию пластового давления «собственной водой» месторождения. Поэтому дополнительного воздействия на пласт для поддержания пластового давления не нужно, соответственно организация ППД на этом месторождении нецелесообразна.

Коэффициент вытеснения нефти и относительные фазовые проницаемости приняты по аналогии с Чумаковским месторождением. Конечный КИН равен 0,45. Ниже приведён график характеристики вытеснения по водонефтяному фактору (рис. 5).



Рисунок 5 – График характеристики вытеснения по водонефтяному фактору

По графику видно, что запасы полностью не вырабатываются с помощью скважины № 1 и соответственно не достигается утверждённый КИН. При накопленной добыче нефти 130,0–140,0 тыс. тонн в скважине произошёл прорыв воды из нижележащей пачки по заколонному пространству.

Обоснование вариантов разработки по месторождению

В соответствии с вышеизложенным предлагаются следующие варианты разработки Владимирского месторождения.

Вариант 1 предусматривает разработку месторождения в соответствии с проектными решениями утверждённого ПТД: бурение скважины № 3 (категория запасов B2) в 2023 году, бурение бокового ствола в скважине № 3 в 2032 году.

В варианте 2 предлагается бурение новой скважины № 2 в 2020 году на запасы категории А, а также бурение скважины № 3 (категория запасов B2) в 2023 году, бурение бокового ствола в скважине № 3 в 2032 году.

Вариант 3 предполагает бурение новой скважины № 2 в 2020 году на запасы категории А, бурение скважины № 3 (категория запасов B2) в 2023 году и бурение новой скважины № 4 в 2024 году.

Во всех вариантах рекомендуется местоположение точек бурения боковых стволов уточнять недропользователю перед бурением на основе текущего анализа выработки запасов.

Основные исходные характеристики прогнозных вариантов разработки приведены в таблице 1. Карты размещения скважин и точек боковых стволов на поверхности отражены на рисунках 6–8.

Таблица 1 – Основные исходные характеристики прогнозных вариантов разработки

Характеристики	Варианты		
	1	2	3
N1ch, III пачка			
Режим разработки			
Система размещения скважин	избирательная	избирательная	избирательная
Расстояние между скважинами, м	380–440 м, среднее 410 м		
Плотность сетки скважин, га/скв.	79	63,2	63,2
Коэффициент охвата процессом вытеснения, доли ед.	0,524	0,726	0,726
Коэффициент извлечения нефти, доли ед.	0,325	0,450	0,450
Коэффициент эксплуатации действующего фонда скважин, доли ед.:			
– добывающих	0,98	0,98	0,98
– нагнетательных	0,98	0,98	0,98
Расчётный период, лет	18	25	25
Накопленная добыча нефти за проектный срок, тыс. тонн	261	424	424
Накопленная добыча нефти с начала разработки, тыс. тонн	427	590	590

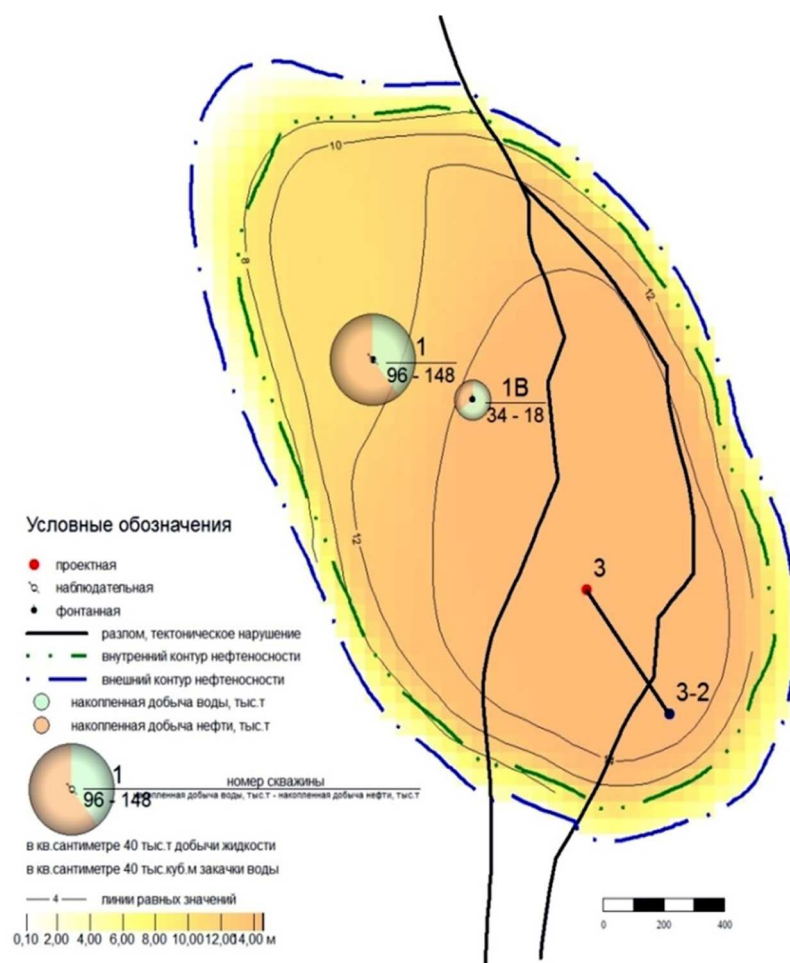


Рисунок 6 – Схема размещения проектных скважин и боковых стволов по первому варианту разработки Владимирского месторождения

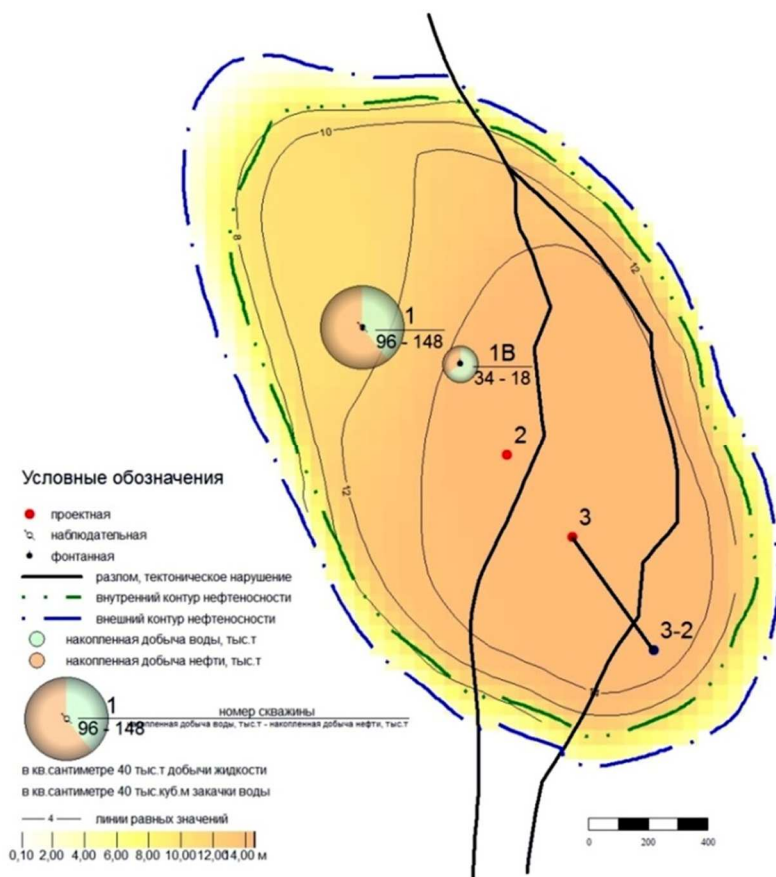


Рисунок 7 – Схема размещения проектных скважин и боковых стволов по второму варианту разработки Владимирского месторождения

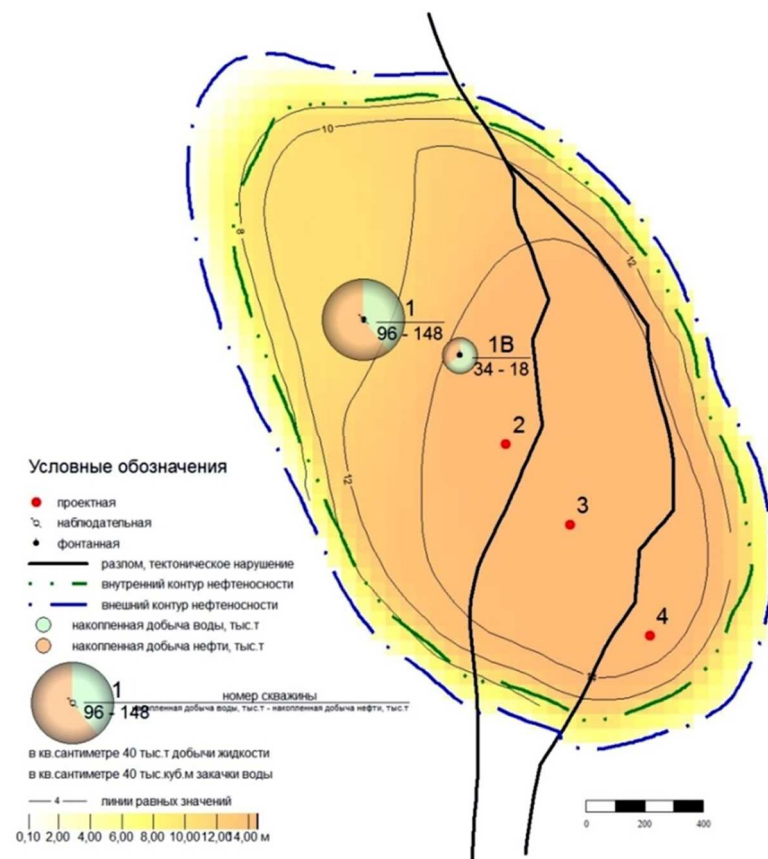


Рисунок 8 – Схема размещения проектных скважин и боковых стволов по третьему варианту разработки Владимирского месторождения

Первый вариант разработки

Вариант 1 предусматривает разработку месторождения в соответствии с проектными решениями утверждённого ПТД: бурение скважины № 3 (категория запасов В2) в 2023 году, бурение бокового ствола в скважине № 3 в 2032 году. На рисунке 9 показана карта начальной нефтенасыщенности первого варианта прогноза.

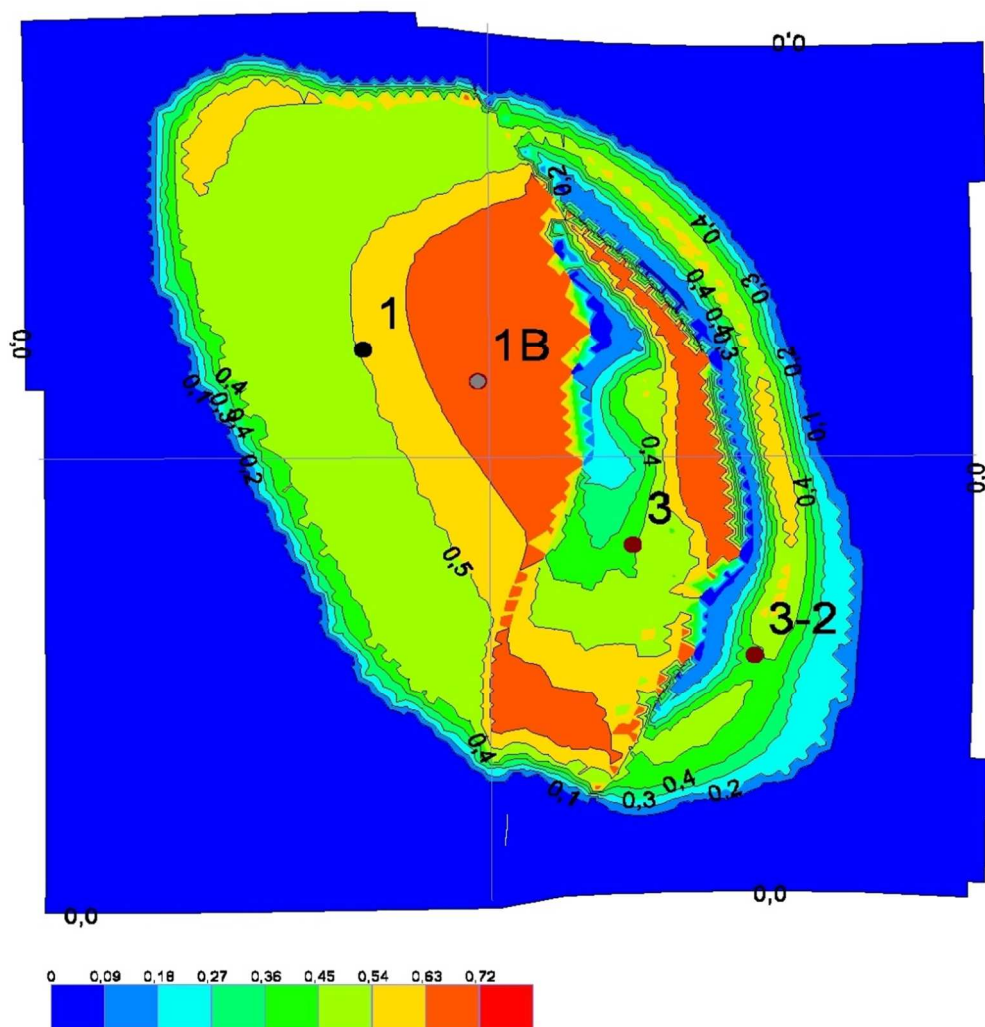


Рисунок 9 – Карта начальной нефтенасыщенности первого варианта прогноза

В данном варианте разработка продолжается одной скважиной с боковым стволом.

- плотность сетки скважин возрастает до 79 га/скв.;
- проектный уровень добычи достигает 58,9 тыс. тонн;
- темп отбора от начальных извлекаемых запасов при проектном уровне добычи достигает 43,1 %;
- накопленная добыча нефти достигает 427 тыс. тонн;
- коэффициент извлечения нефти достигает 0,325. доли ед.

Модель, адаптированная на данных истории добычи до 01.01.2017 г., а также с условиями дальнейшей разработки первого варианта разработки, была пущена на расчёт в программе МАГМА, из чего получились следующие результаты (рис. 10–15):

Из приведённых расчётных графиков становится понятно, что в данном варианте разработки степень разбуренности месторождения мала, от чего дебиты нефти стремительно уменьшаются с ростом обводнённости, вследствие чего скважины перестают работать в виду отсутствия рентабельности, притом, что пластовое давление падает незначительно, а значит, и потенциал разработки ещё не раскрыт.

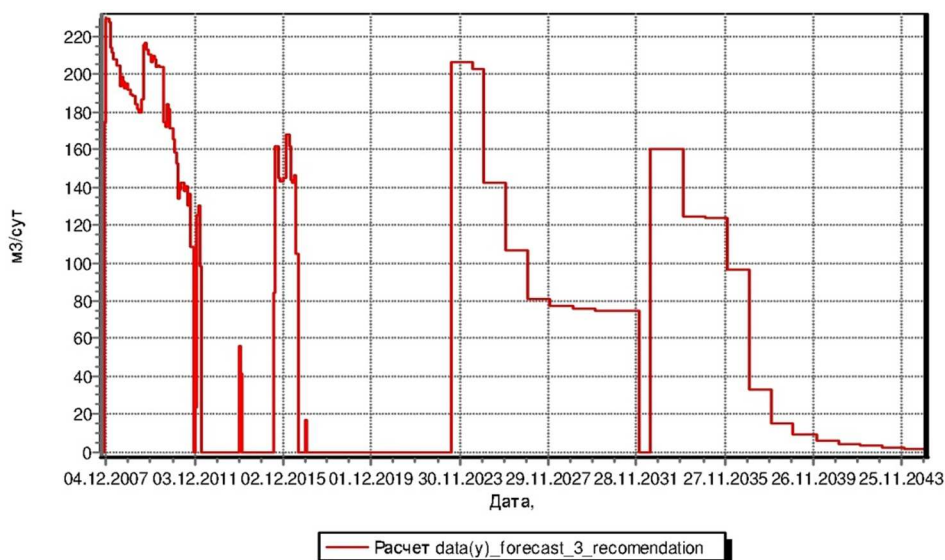


Рисунок 10 – Дебит жидкости, м³/сут.

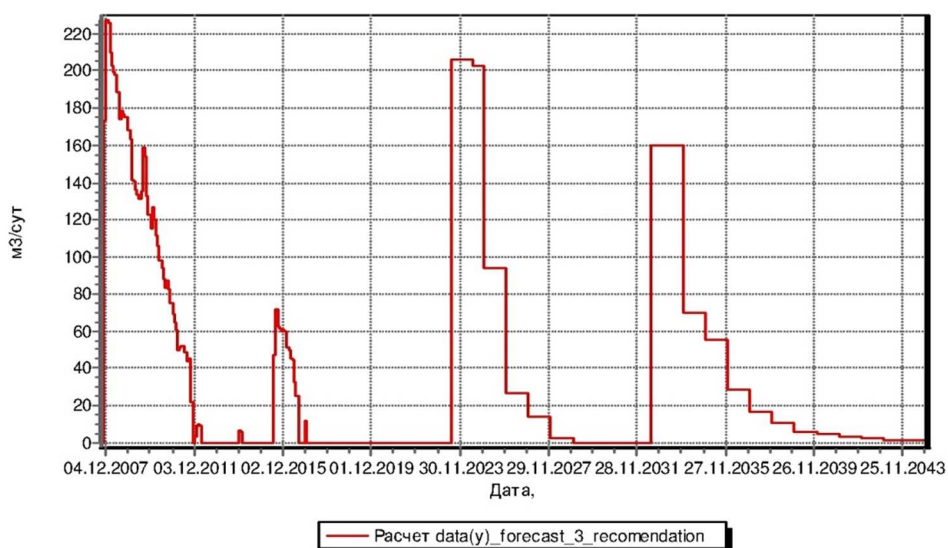


Рисунок 11 – Дебит нефти, м³/сут.

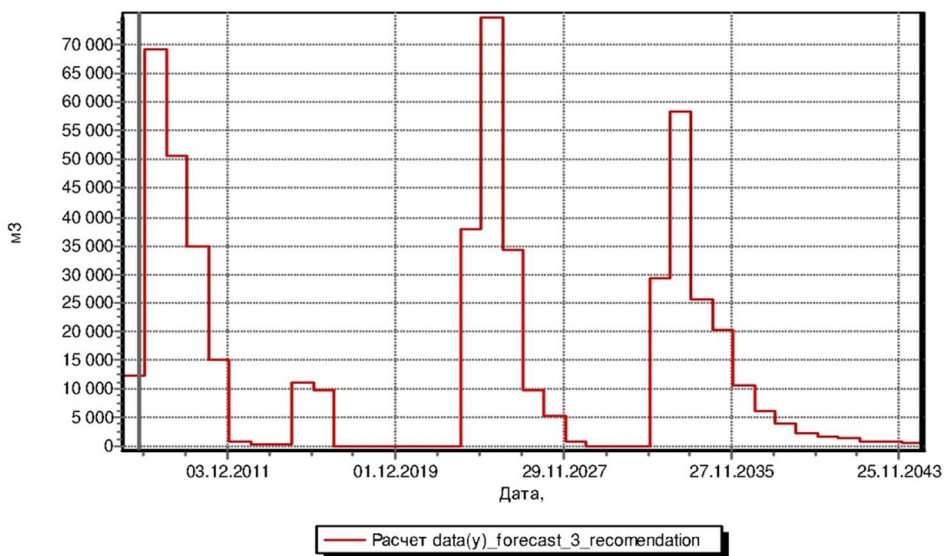


Рисунок 12 – Годовая добыча нефти, м³

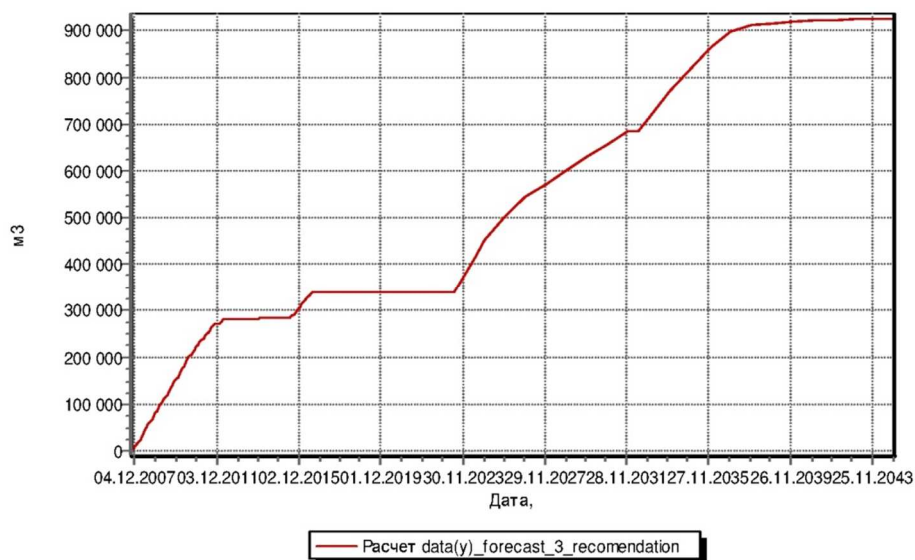


Рисунок 13 – Накопленная добыча жидкости, м³

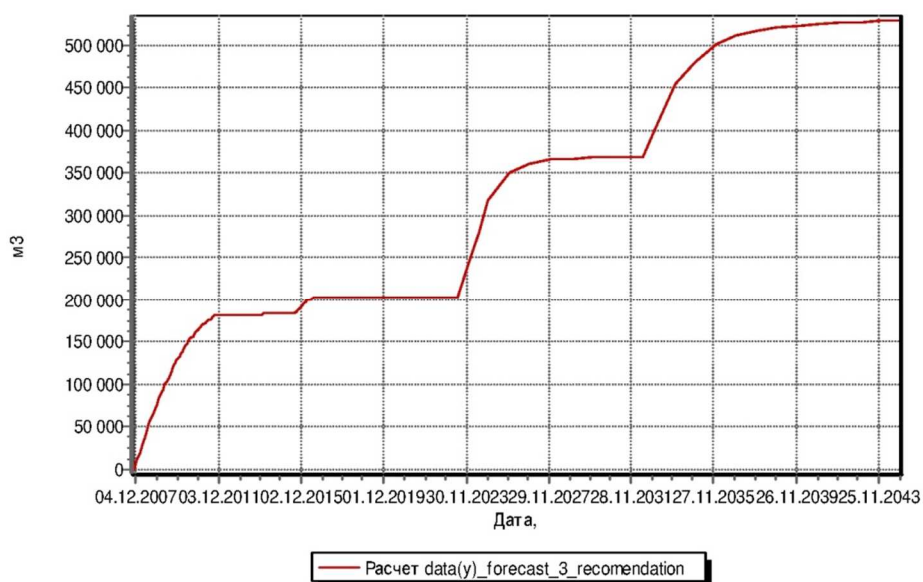


Рисунок 14 – Накопленная добыча нефти, м³

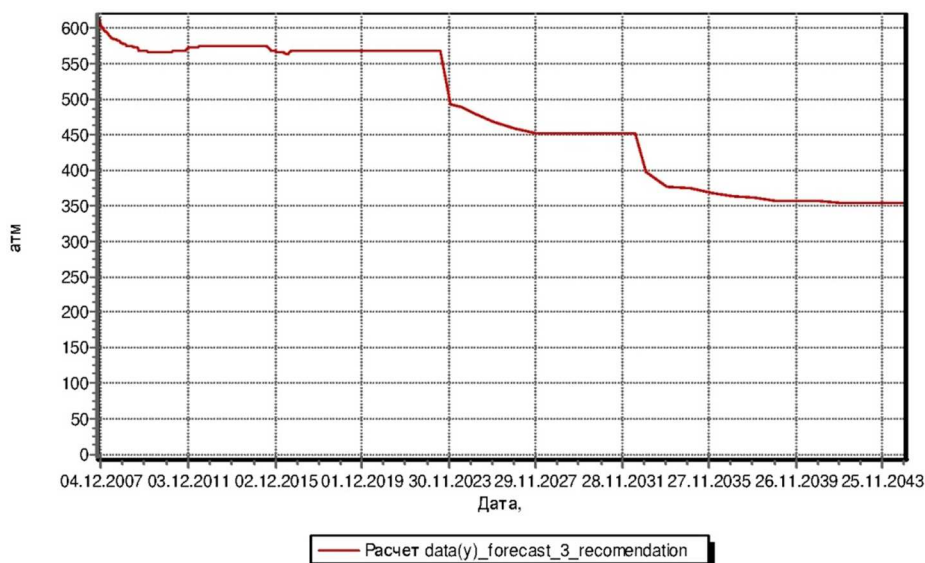


Рисунок 15 – Пластовое давление, атм.

Второй вариант разработки

В варианте 2 предлагается бурение новой скважины № 2 в 2020 году на запасы категории А, а также бурение скважины № 3 (категория запасов В2) в 2023 году, бурение бокового ствола 3–2 в скважине № 3 в 2032 году. На рисунке 16 показана карта начальной нефтенасыщенности второго варианта прогноза.

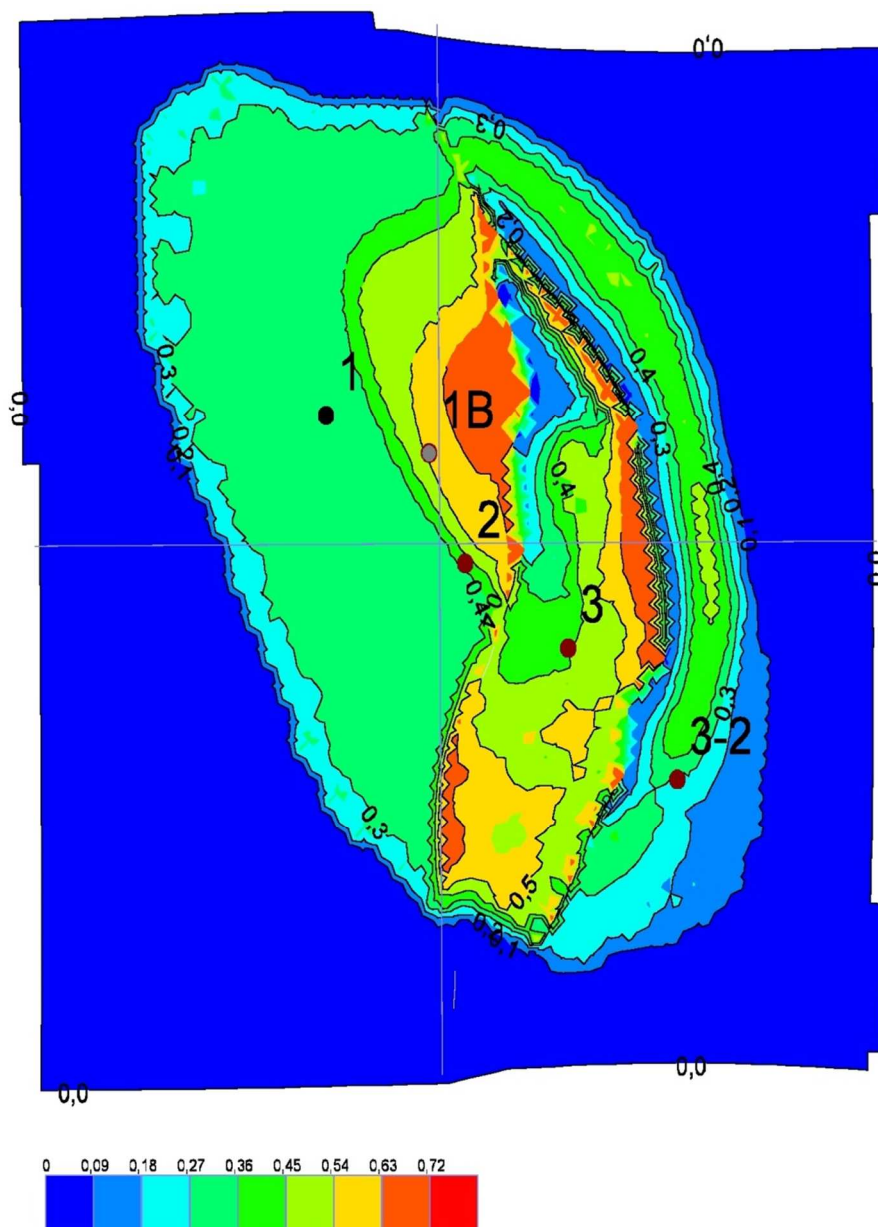


Рисунок 16 – Карта начальной нефтенасыщенности второго варианта прогноза

Добавление двух скважин к фонду вносит следующие изменения:

- плотность сетки скважин возрастает до 63,2 га/скв.;
- проектный уровень добычи достигает 69,7 тыс. тонн;
- темп отбора от начальных извлекаемых запасов при проектном уровне добычи достигает 53,7 %;
- накопленная добыча нефти достигает 590 тыс. тонн;
- коэффициент извлечения нефти достигает 0,45 доли ед.

Модель, адаптированная на данных истории добычи до 01.01.2017 г., а также с условиями дальнейшей разработки второго варианта разработки, была пущена на расчёт в программе МАГМА, из чего получились следующие результаты (рис. 17–22):

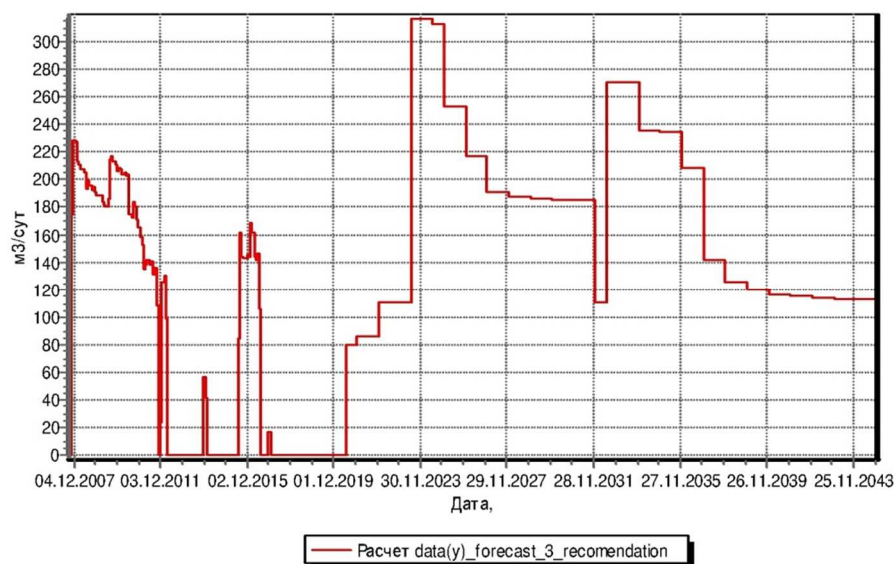


Рисунок 17 – Дебит жидкости, м³/сут.

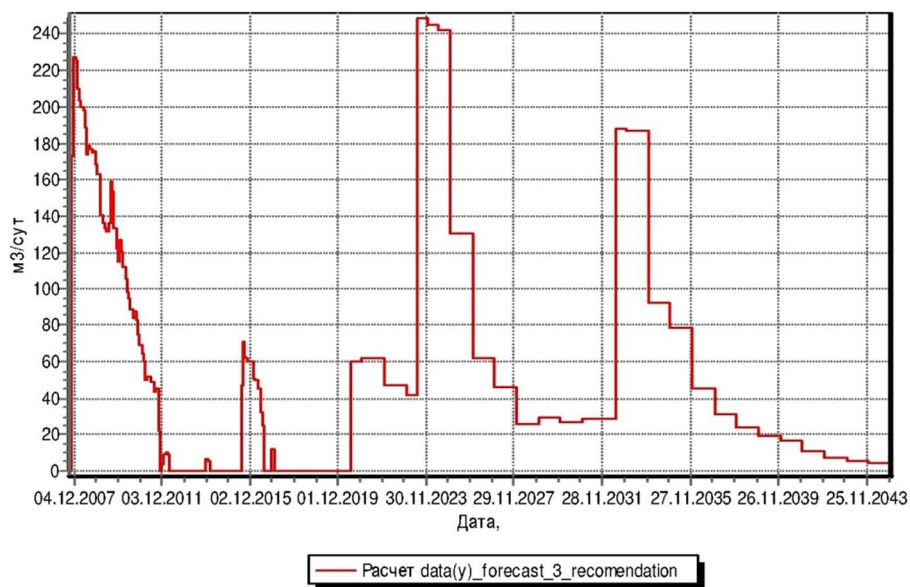


Рисунок 18 – Дебит нефти, м³/сут.

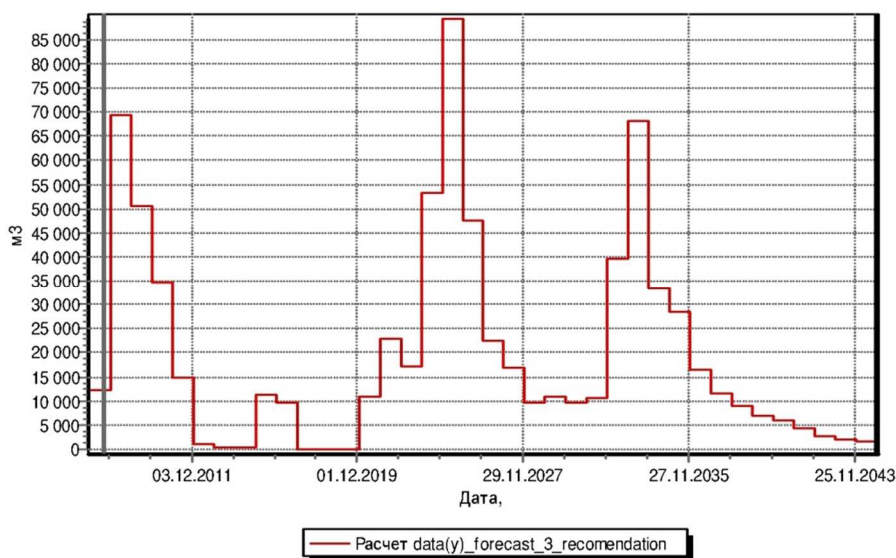


Рисунок 19 – Годовая добыча нефти, м³

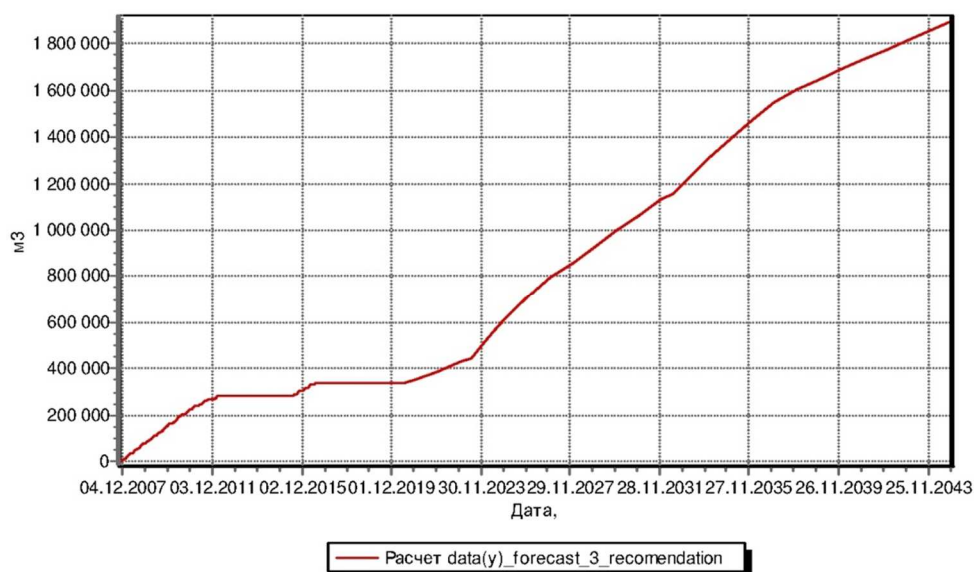


Рисунок 20 – Накопленная добыча жидкости, м³

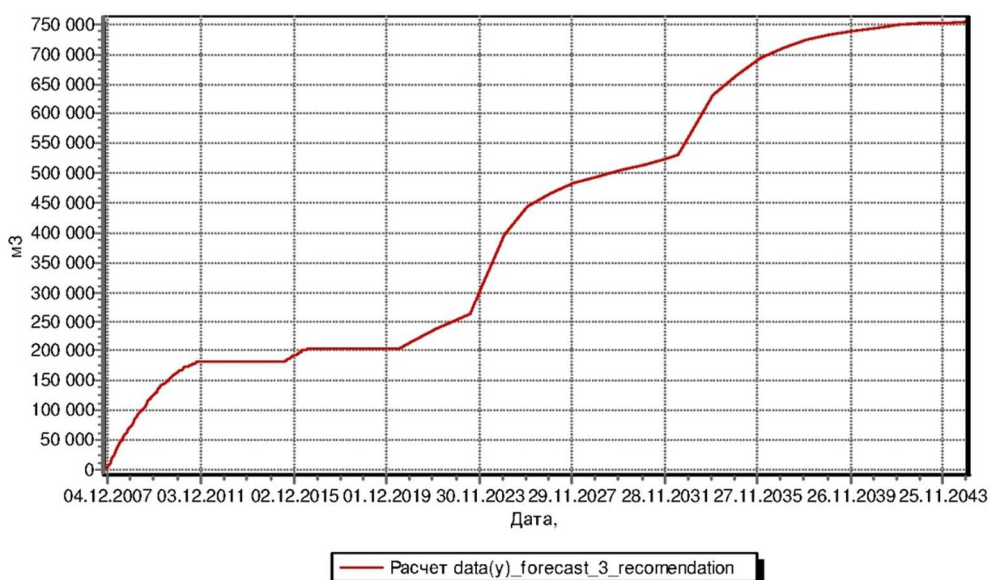


Рисунок 21 – Накопленная добыча нефти, м³

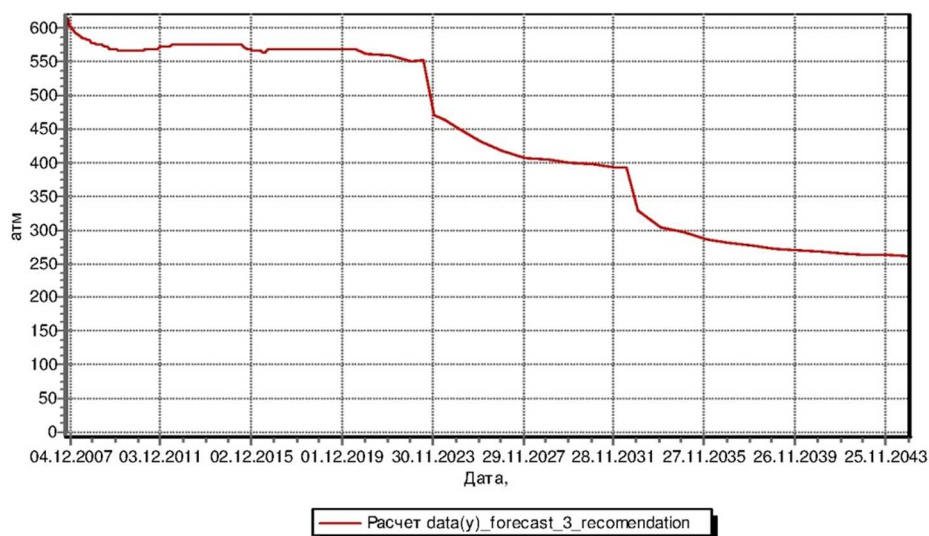


Рисунок 22 – Пластовое давление, атм.

Расчёт показал, что благодаря вводу двух новых скважин удалось заметно снизить обводнённость добываемой нефти, за счёт большего проседания давления, а, следовательно, меньших депрессий. Таким образом, порывы воды стали значительно меньшими, добыча жидкости сократилась на 1200 тыс. м³, но добыча нефти возросла на 615 тыс. м³.

Третий вариант разработки

Вариант 3 предполагает бурение новой скважины № 2 в 2020 году на запасы категории А, бурение скважины № 3 (категория запасов В2) в 2023 году и бурение новой скважины № 4 в 2024 году. На рисунке 23 показана карта начальной нефтенасыщенности третьего варианта прогноза.

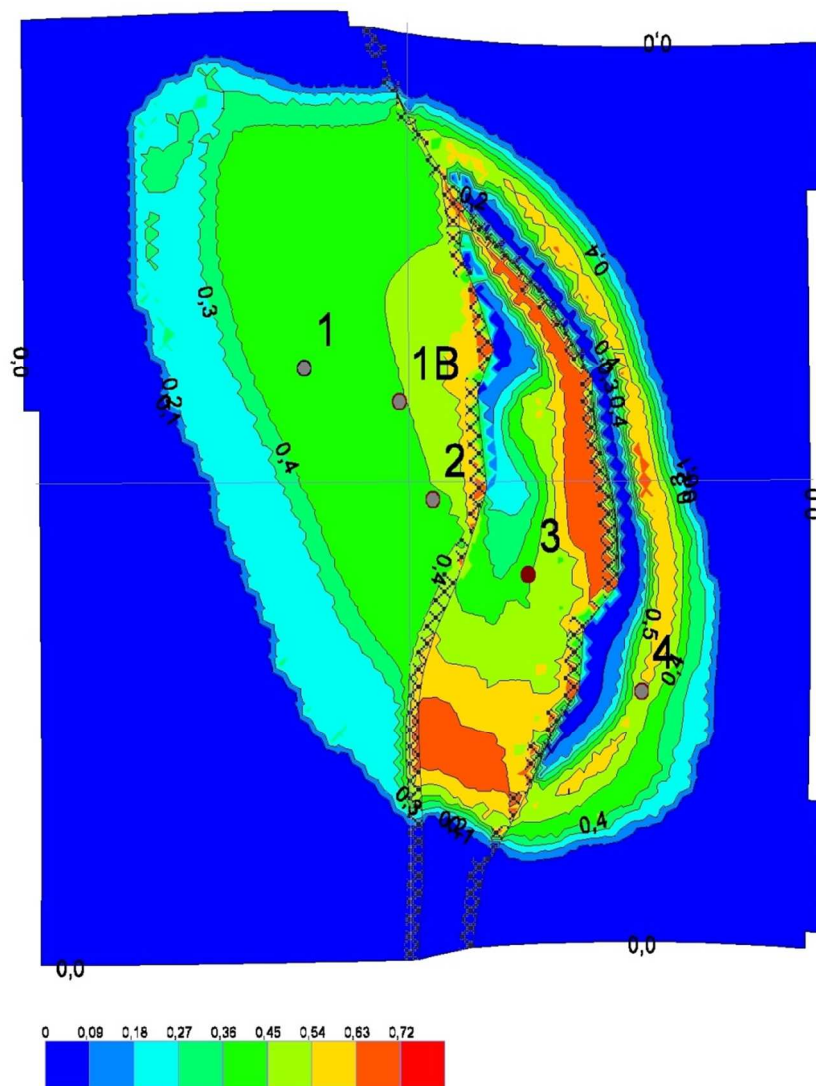


Рисунок 23 – Карта начальной нефтенасыщенности третьего варианта прогноза

Добавление трёх скважин к эксплуатационному фонду вносит следующие изменения:

- плотность сетки скважин возрастает до 63,2 га/скв.;
- проектный уровень добычи достигает 92,7 тыс. тонн;
- темп отбора от начальных извлекаемых запасов при проектном уровне добычи достигает 57,6 %;
- накопленная добыча нефти достигает 590 тыс. тонн;
- коэффициент извлечения нефти достигает 0,45 доли ед.

Модель с данными была изменена под соответствующие условия и пущена на расчёт в программе МАГМА, получились следующие итоги (рис. 24–29):

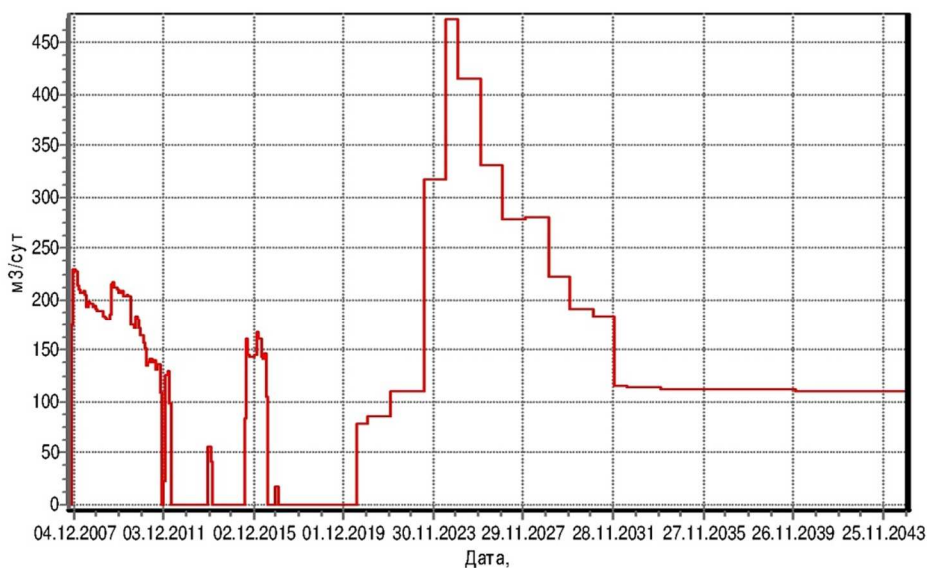


Рисунок 24 – Дебит жидкости, м³/сут.

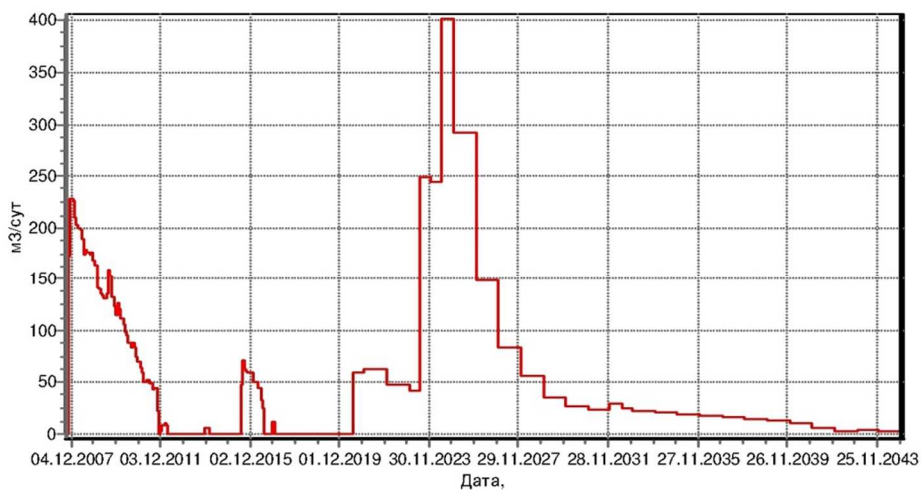


Рисунок 25 – Дебит нефти, м³/сут.

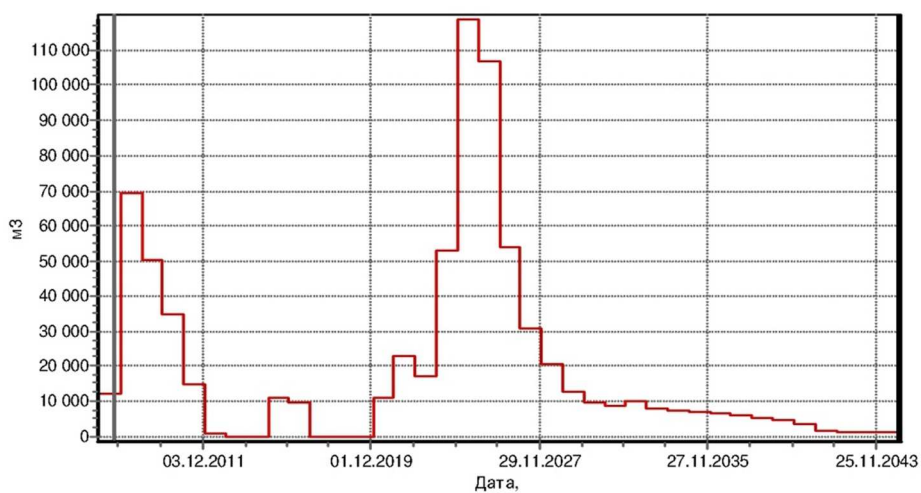


Рисунок 26 – Годовая добыча нефти, м³



Рисунок 27 – Накопленная добыча жидкости, м³

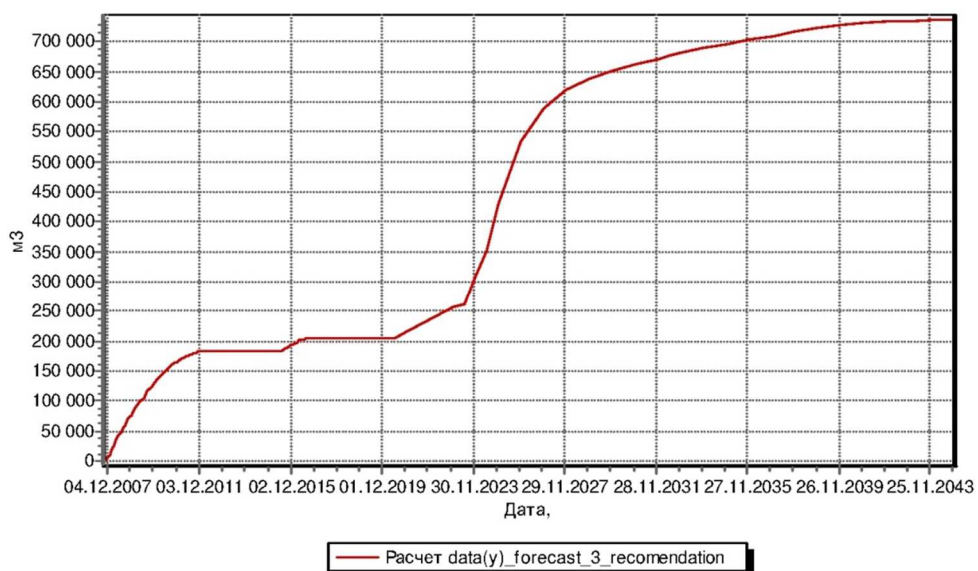


Рисунок 28 – Накопленная добыча нефти, м³

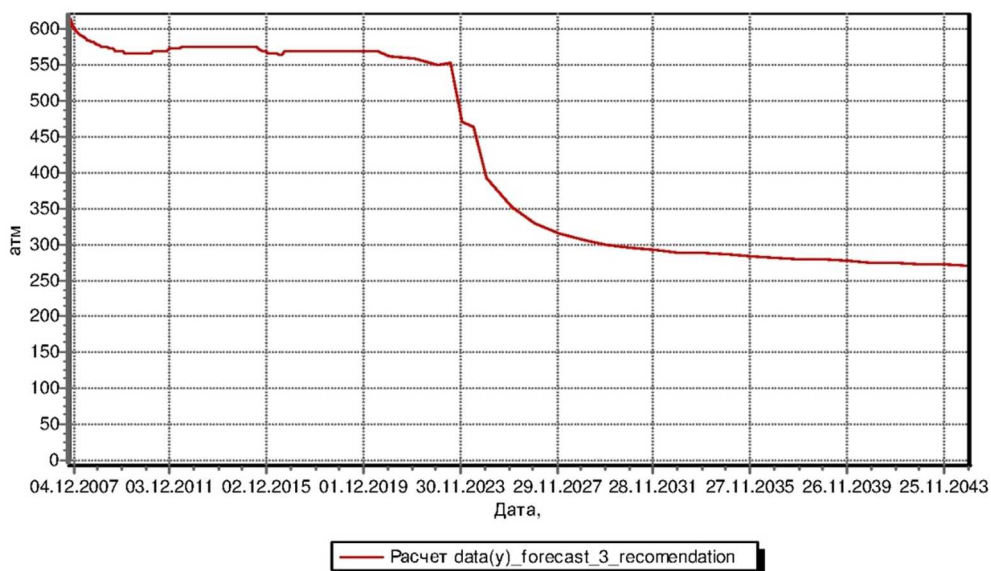


Рисунок 29 – Пластовое давление, атм.

Расчёт показал, что благодаря вводу трёх новых скважин удалось заметно снизить обводнённость добываемой нефти за счёт большего проседания давления, а, следовательно, меньших депрессий. Благодаря своевременному вводу скважин в местах с наивысшими показателями нефтенасыщенности, удалось выработать месторождение до утверждённого КИНа со значительно большей выгодой, добыча жидкости сократилась на 2000 тыс. м³, но добыча нефти возросла на 650 тыс. м³.

Выбор рекомендуемого варианта разработки

На рисунке 30 представлен график сопоставления вариантов разработки по добыче нефти.

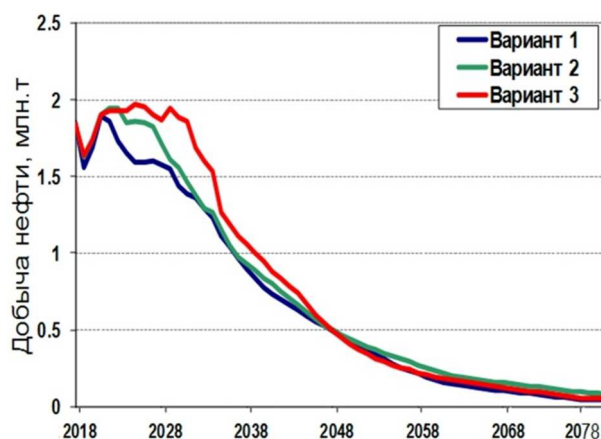


Рисунок 30 – График сопоставления вариантов разработки по добыче нефти

Как видно из рисунка 30, с технологической точки зрения за счёт большей скорости выработки основных запасов выигрывает третий вариант разработки, предполагающий бурение новой скважины № 2 в 2020 году на запасы категории А, бурение новой скважины № 3 (категория запасов В2) в 2023 году и бурение новой скважины № 4 в 2024 году.

В таблице 2 приведено сравнение вариантов разработки Владимирского месторождения с технологической и экономической точек зрения.

Таблица 2 – Сравнение основных технико-экономических показателей вариантов разработки

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Система разработки	избирательная	избирательная	избирательная
Соотношение добывающих / нагнетательных скважин	2 / –	3 / –	4 / –
Площадь участка, га	316	316	316
Плотность сетки скважин, га/скв.	79	63,2	63,2
Расстояние между скважинами, м	350	350	350
Количество скважин к бурению, шт.	1	2	3
Бурение боковых стволов, шт.	1	1	–
Извлекаемые запасы на 1 скважину, тыс. тонн	424	141,3	141,3
Дебит нефти, тонн/сут.	19,8	15,5	11,6
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	261	424	424
Срок разработки, годы	24 (2040)	28 (2044)	28 (2044)
КИН, доли ед.	0,326	0,450	0,450
Стоимость 1 скважины, млн руб.	401,3	401,3	401,3
Чистая приведённая стоимость (NPV), млн руб.	254,3	313,2	336,0
NPV/га, млн руб./га	0,805	0,991	1,063
Внутренняя норма доходности(IRR), доли ед.	1,66	0,38	0,41
Интегральный показатель оптимальности разработки (T _{опт}), доли ед.	1,964	2,754	3,000

Из анализа рисунка 30 и таблицы 2 можно сделать вывод, что наиболее оптимальным режимом разработки является третий вариант, так как первый вариант не достигает проектного КИН в 0,450, а по сравнению со вторым вариантом третий выгодней по внутренней норме доходности, а, значит, и по интегральному показателю оптимальности разработки он тоже лучший.

Из чего следует рекомендовать третий вариант к разработке.

Экономическая оценка вариантов разработки

Целью экономической оценки Владимирского месторождения является выбор экономически эффективного варианта разработки, позволяющего осуществить наиболее полное извлечение имеющихся запасов нефти и газа при высоких экономических результатах.

Технико-экономические показатели вариантов разработки

Сопоставление основных экономических показателей разработки Владимирского месторождения по вариантам разработки приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Сопоставление основных технико-экономических показателей вариантов разработки Владимирского месторождения

Параметры	Ед.изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Система разработки		–	–	–
Вид воздействия		–	–	–
Плотность сетки скважин (приведенная)	га/скв	–	–	–
Максимальные уровни добычи: – нефти	тыс. тонн	58,9	69,7	92,7
– жидкости	тыс. тонн	59,0	95,5	128,0
– газа газовых шапок	млн м ³	0,0	0,0	0,0
– свободного газа	млн м ³	0,0	0,0	0,0
Максимальные уровни закачки: – воды	тыс. м ³	0,0	0,0	0,0
– газа газовых шапок	млн м ³	0,0	0,0	0,0
Проектный период разработки	годы	24 (2040)	28 (2044)	28 (2044)
Рентабельный период разработки	годы	21 (2037)	22 (2038)	24 (2040)
Накопленная добыча нефти за проектный период	тыс. тонн	261,0	424,0	424,0
Накопленная добыча нефти за рентабельный период	тыс. тонн	257,9	413,0	419,1
Накопленная добыча нефти с начала разработки	тыс. тонн	427,0	590,0	590,0
Коэффициент извлечения нефти	доли ед.	0,326	0,450	0,450
коэффициент извлечения нефти за рентабельный период (КИНр)	доли ед.	0,323	0,442	0,446
Накопленная закачка с начала разработки	тыс. м ³	–	–	–
Накопленная добыча жидкости с начала разработки	тыс. т	–	–	–
Средний дебит добывающей скважины по нефти на конец проектного периода	тонн/сут.	–	–	–
Средний дебит добывающей скважины по нефти на конец рентабельного периода	тонн/сут.	–	–	–
Средняя обводненность продукции на конец проектного периода	%	–	–	–
Средняя обводненность продукции на конец рентабельного периода	%	–	–	–
Накопленная добыча свободного газа за проектный период	млн м ³	–	–	–
Накопленная добыча свободного газа за рентабельный период	млн м ³	–	–	–
Накопленная добыча свободного газа с начала разработки	млн м ³	–	–	–

Выбор рекомендуемого к реализации варианта производился с учётом интегрального показателя $T_{\text{опт}}$, учитывающего комплексно добычу углеводородов, доход Государства и недропользователя.

При разработке Владимирского месторождения максимальный показатель $T_{\text{опт}}$ наблюдается по варианту 3.

При разработке по рекомендуемому варианту 3 чистый дисконтированный (при ставке дисконта 15,0 %) доход недропользователя составит 379,0 млн руб., в бюджет государства с учётом дисконта будет перечислено 1 356,0 млн руб.

Для разработки Владимирского месторождения по рекомендуемому варианту капитальных вложений потребуется 1 259,0 млн руб. (без НДС).

Эксплуатационные расходы, рассчитанные по укрупнённой оценке за проектный срок, составят 5 682,0 млн руб., в т.ч.:

- 1 403,0 млн руб. – текущие производственные затраты;
- 3 020,0 млн руб. – налоги и отчисления в себестоимости;
- 1 259,0 млн руб. – амортизационные отчисления.

Затраты на ликвидацию скважин (внереализационные расходы) по окончании срока разработки составят 6,7 млн руб.

Чистый доход от реализации нефти и газа, составит 1 658,0 млн руб., чистый дисконтированный (при ставке дисконта 15,0 %) доход 379,0 млн руб. В бюджет поступит с учётом дисконта 1 356,0 млн руб. (ЧДДб).

Анализ чувствительности проекта

Функционированию добывающего предприятия, как и любого другого, в рыночной среде присущ определённый риск – вероятность убытков или недополучения доходов, предусмотренных проектом.

Наиболее важными причинами риска являются возможный рост материальных или иных затрат, повышение налогов, завышение принятых в расчётах закупочных цен, изменение величины прибыли на инвестированный капитал.

С целью учёта факторов неопределённости и риска и оценки устойчивости проекта использован метод вариации параметров, т.е. осуществлена проверка чувствительности критериев оценки эффективности проекта к изменению основных параметров-факторов.

Расчёты выполнены по варианту 3, рекомендуемому к реализации. В таблице 4 представлена оценка чувствительности проекта к различным изменениям технологических и экономических параметров.

Таблица 4 – Анализ чувствительности изменения ЧДД пользователя недр (млн. руб.)

Показатели	Отклонение показателей (+/-)		
	- 20,0 %	0 %	20,0 %
Добыча нефти и ГК (+/- 20,0 %)	197,1	379,0	566,9
Капитальные вложения (+/- 20,0 %)	483,2	379,0	274,8
Цена нефти Brent (+/- 20,0 %)	289,9	379,0	468,1
Операционные затраты (+/- 20,0 %)	427,3	379,0	330,7

Продолжение таблицы 4 – Анализ чувствительности изменения дохода Государства (млн. руб.)

Показатели	Отклонение показателей (+/-)		
	- 20,0 %	0 %	20,0 %
Добыча нефти и ГК (+/- 20,0 %)	3 495	4466	5 315
Капитальные вложения (+/- 20,0 %)	4 476	4466	4 407
Цена нефти Brent (+/- 20,0 %)	3 231	4466	5 642
Операционные затраты (+/- 20,0 %)	4 507	4466	4 358

Окончание таблицы 4 – Анализ чувствительности изменения рентабельных запасов нефти (тыс. тонн)

Показатели	Отклонение показателей (+/-)		
	- 20,0 %	0 %	20,0 %
Добыча нефти и ГК (+/- 20,0 %)	329,2	419,1	505,2
Капитальные вложения (+/- 20,0 %)	419,1	419,1	419,1
Цена нефти Brent (+/- 20,0 %)	416,8	419,1	419,1
Операционные затраты (+/- 20,0 %)	421,0	419,1	414,4

При оценке риска предполагалось, что изменения параметров происходят независимо друг от друга.

Литература:

1. Лицензия КРД 03241 НР от 16.11. 2006 г. на геологическое изучение (поиски и оценка месторождений) и добычу нефти и газа Славянско-Темрюкского участка.
2. Оперативный подсчёт запасов по месторождению Восточно-Чумаковское: отчёт о НИР / ООО «НК «Роснефть» – НТЦ»; исполнитель: Никитенко В.В. – Краснодар, 2012. – 518 с.
3. Проект пробной эксплуатации Восточно-Чумаковского месторождения (утверждён 18.12.2008). – М. : ЦКР «Роснедра», 2008 (приказ № 4477).
4. Технологическая схема разработки Восточно-Чумаковского месторождения (утверждена 26.12.2011). – М. : ЦКР «Роснедра», 2011 (приказ № 5307).
5. Технологическая схема разработки Восточно-Чумаковского нефтяного месторождения (утверждена 29.09.2015). – М. : ЦКР «Роснедра», 2015 (приказ № 6240).
6. РД 153-39.0-047-00. Регламент по созданию постоянно-действующих геолого-технологических моделей нефтяных месторождений.
7. Проект по безопасной временной эксплуатации, консервации и ремонту скважин с межколонным давлением на месторождениях. ОАО «НК «Роснефть» – Краснодарнефтегаз». – Краснодар : ОАО «РосНИПИтермнефть», 2005.
8. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
9. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
10. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
11. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
12. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика : монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
13. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
14. Попов В.В., Богуш И.А., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Лаврентьев А.В. Поиски, разведка и эксплуатация месторождений нефти и газа : учебное пособие. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – 322 с.
15. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
16. Савенок О.В. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 203 с.
17. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
18. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 267 с.
19. Дердуга А.В., Нштути Мвизерва Иве. Построение геологической и гидродинамической моделей Владимирского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 266–280.
20. Захарченко Е.И., Захарченко Ю.И. Применение марковских моделей к анализу разработки нефтегазовых месторождений и оценке дебитов скважин // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 170–172.
21. Куренков В.В. Построение трёхмерной геологической модели на примере литологии Вынгапуровского месторождения // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года): в 5 томах: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 108–110.
22. Скуба Д.А., Колбунов М.Г., Савенок О.В., Соловьёва В.Н. Вероятностная модель массивных залежей нефти в верхнекаменноугольных и силурийско-девонских карбонатных отложениях Тимано-Печорской провинции // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 1. – С. 54–65.
23. Теплюк А.М., Савенок О.В. Оценка перспектив доразведки многопластового Южно-Удмуртского месторождения на основе уточнения геологической модели и опытно-промышленная разработка эксплуатационных объектов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 3. – С. 121–143.

References:

1. KRD License 03241 NR dated 16.11.2006 for geological study (prospecting and evaluation of fields) and oil and gas production of Slavyansko-Temryuksky area.
2. Operational reserves calculation for Vostochno-Chumakovskoye field: research report / Rosneft – STC LLC; performer: Nikitenko V.V. – Krasnodar, 2012. – 518 p.
3. Project of trial operation of the Vostochno-Chumakovskoye field (approved on 18.12.2008). – Moscow: Rosnedra Central Committee of the Russian Federation, 2008 (Order № 44777).
Technological scheme of Vostochno-Chumakovskoye field development (approved on 26.12.2011). – M. : Rosnedra Central Design Bureau, 2011 (Order № 5307).
5. Technological scheme of development of the Vostochno-Chumakovskoye oil field (approved on 29.09.2015). – M. : Rosnedra CDC, 2015 (Order № 6240).
6. RD 153-39.0-047-00. Regulations on creation of permanent geological and technological models of oil fields.
7. Project on safe temporary operation, preservation and workover of wells with inter-casing pressure at the fields. Rosneft – Krasnodarneftegaz. – Krasnodar : OJSC RosNIPItermneft, 2005.
8. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the construction of the oil and gas wells : textbook for university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie-South, 2011. – 603 p.
9. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 volumes: manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
10. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
11. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Scientific basis and practice of the oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
12. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremychuk R.S. Development of oil and gas sverdlovins. Science and practice : monograph. – Lviv : Spole, 2018. – 476 p.
13. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of geophysical research during construction and operation of wells at oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 c.
14. Popov V.V., Bogush I.A., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Lavrentyev A.V. Search, exploration and exploitation of oil and gas fields: textbook. – Novochoerkassk : South Russian State Pedagogical University (NPI), 2015. – 322 p.
15. Popov V.V., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical surveys and well work : a training manual. – Novochoerkassk : Lik, 2017. – 326 p.
16. Savenok O.V. Theoretical bases of the oil and gas fields development : textbook. – Krasnodar : Prosveshchenie-South LLC, 2011. – 203 p.
17. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremychuk R.S. Oil and gas engineering for well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
18. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019. – 267 p.
19. Derduga A.V., Nshuti Mviserva I. Construction of geological and hydrodynamic models of the Vladimirovskoye field // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 266–280.
20. Zakharchenko E.I., Zakharchenko Y.I. Application of the Markov models to the analytical study of oil and gas field development and assessment of well production rates (in Russian) // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2 at 2 p.: Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 170–172.
21. Kurenkov V.V. Building a three-dimensional geological model on the example of lithology of the Vyngapurovskoye field // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International Scientific Conference (March 31, 2017): in 5 volumes: a collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 1: Forecast, prospecting and exploration of oil and gas fields. Oil and gas field geology. Exploration and field geophysics. – P. 108–110.
22. Scuba D.A., Kolbunov M.G., Savenok O.V., Solovyova V.N. Probabilistic model of massive oil deposits in the Upper Carboniferous and Silurian-Devonian carbonate deposits of the Timan-Pechora province // Petroleum engineer. – 2016. – № 1. – P. 54–65.
23. Teplyuk A.M., Savenok O.V. Estimation of the prospects for additional exploration of the multilayer Yuzhno-Udmurtskoye field on the basis of the geological model refinement and pilot development of operational facilities // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 3. – P. 121–143.

УДК 550.832

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН
ПРИ РЕШЕНИИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ЗАДАЧ
НА КУЩЁВСКОЙ ПХГ**

**ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS
OF A COMPLEX OF GEOPHYSICAL RESEARCH
OF WELLS IN SOLVING OILFIELD PROBLEMS
ON THE KUSHCHEVSKOYE UNDERGROUND GAS STORAGE AREA**

Шальская Светлана Васильевна

начальник контрольно-интерпретационной
методической партии
промыслово-геофизических исследований,
производственный филиал «Кубаньгазгеофизика»
ООО «Газпром георесурс» ПАО «Газпром»
sv010478@mail.ru

Лешкович Надежда Михайловна

старший преподаватель кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
NLeshkovich@bk.ru

Аннотация. В статье приведены основные результаты ГИС-контроля на Кущёвской ПХГ: определено положение ГВК и газонасыщенной толщины продуктивной толщи; выполнен контроль за герметичностью покрышки, межколонными и заколонными газопроявлениями; определена текущая и остаточная газонасыщенность объектов закачки и отбора газа в наблюдательных скважинах Кущёвского ПХГ. Также выполнена оценка продуктивности коллекторов в действующих скважинах подземных газохранилищ по данным газодинамических исследований и посчитана эффективность применения разработанной методики оценки текущей газонасыщенности и продуктивности коллекторов в геофизических на действующих скважинах Кущёвского ПХГ.

Ключевые слова: основные результаты ГИС-контроля; определение положения ГВК; определение положения газонасыщенной толщины продуктивной толщи; контроль за герметичностью покрышки, межколонными и заколонными газопроявлениями; определение текущей и остаточной газонасыщенности; оценка продуктивности коллекторов в действующих скважинах; оценки текущей газонасыщенности и продуктивности коллекторов в действующих скважинах Кущёвского ПХГ.

Shalskaya Svetlana Vasilyevna

Head of the Control and Interpretation
Methodical Party of Field
and Geophysical Research,
Production Branch «Kubangazgeofizika»
LLC «Gazprom georesource»
PJSC «Gazprom»
sv010478@mail.ru

Leshkovich Nadezhda Mikhailovna

Senior lecturer of oil
and gas engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
NLeshkovich@bk.ru

Annotation. The article presents the main results of the geophysical research of wells control on the Kushchevskoye underground gas storage area: the position of the gas-water contact and the gas-saturated thickness of the productive stratum is determined; the tightness of the tire, annular and annular gas showings were monitored; The current and residual gas saturation of the objects of gas injection and gas extraction in the observation wells of the Kushchevskoye underground gas storage area were determined. The reservoir productivity was also assessed in operating wells of underground gas storages according to gas-dynamic studies and the effectiveness of the application of the developed methodology for assessing the current gas saturation and reservoir productivity in geophysical wells at existing Kushchevskoye underground gas storage area was calculated.

Keywords: main results of geophysical research of wells control; determination of the position of gas-water contact; determination of the position of the gas-saturated thickness of the productive stratum; control of the tightness of the tire, annular and annular gas manifestations; determination of current and residual gas saturation; assessment of reservoir productivity in existing wells; assessment of current gas saturation and reservoir productivity in existing wells on Kushchevskoye underground gas storage area.

Определение положения ГВК и газонасыщенной толщи продуктивной толщи

Скважина № 51г (рис. 1) расположена на северо-западе структуры. Максимальная глубина прохождения приборов 1367,8 м по данным НГК (I пласт, отложения нижнего мела).

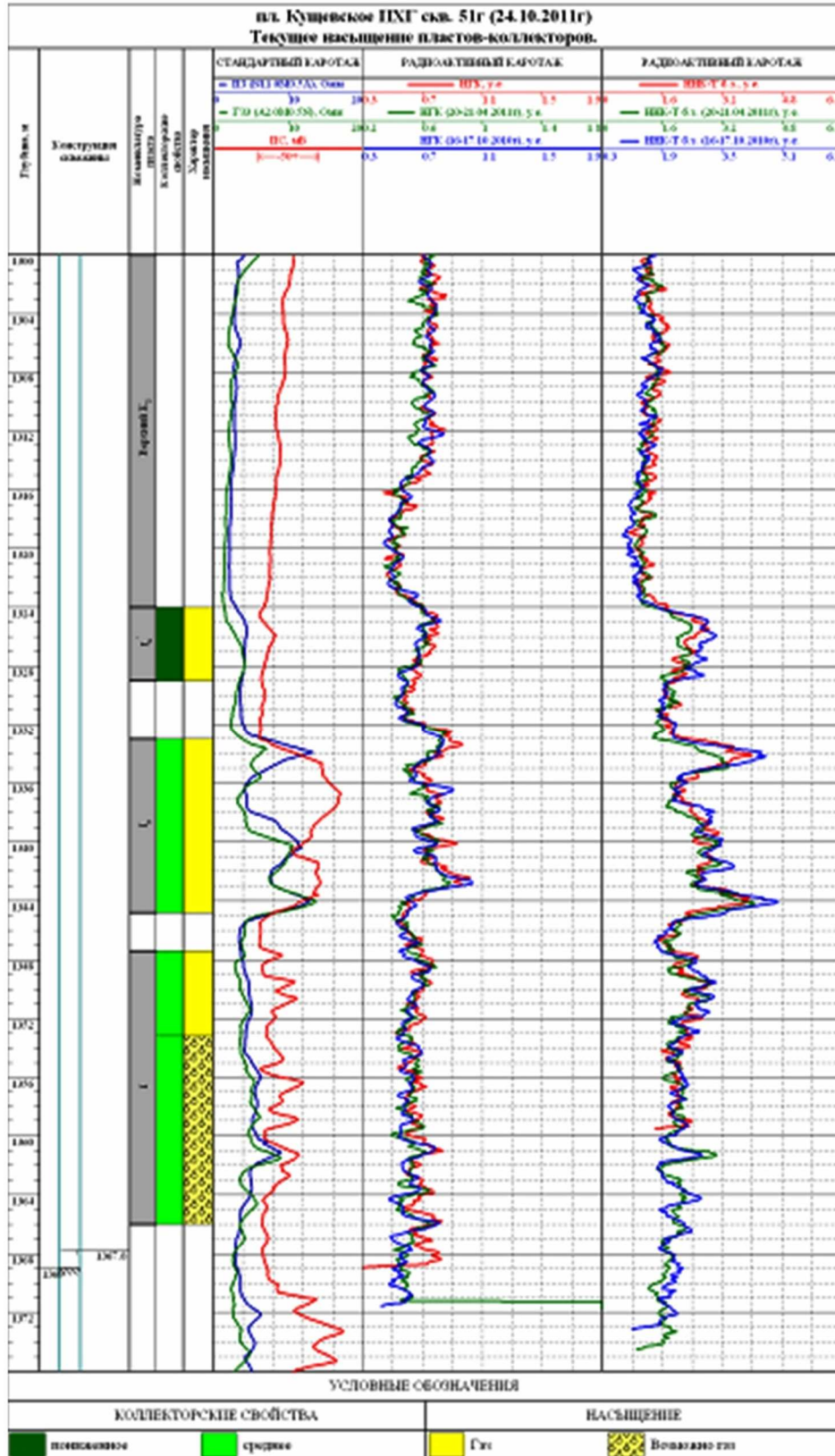


Рисунок 1 – Текущее насыщение по временным замерам РК (скважина № 51г)

По данным замеров ГИС-бурения, временных замеров РК пласты-коллекторы Ia' (1324–1329 м), Ia (1333–1344,8 м) и I пласт (1347,4–1353,2 м) отложений нижнего мела характеризуются как газонасыщенные, а в интервале 1353,2–1366,0 м в I пласте возможно газ. Относительно ранее выполненных исследований РК текущего и от 20–21.04.2011 г., 16–17.10.2010 г. изменения показаний в продуктивной толще не наблюдается. Подошвенная часть I пласта в интервале 1351,0–1366,0 м характеризуется низкими показаниями НГК и ННК. Насыщение представлено поинтервально в таблице 1.

Таблица 1 – Поинтервальное насыщение

Пласт	Кровля	Подошва	Н _{обш.} (м)	Характеристика
Ia'	1324,0	1329,0	5,0	газонасыщен
Ia	1333,0	1344,8	11,8	газонасыщен
I	1347,4	1353,2	5,8	газонасыщен
I	1353,2	1366,0	12,8	возможно газ

По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замеров от 16–17.10.2010 г., 20–21.04.2011 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума, зоцена, верхнего и нижнего мела не отмечается.

При сопоставлении временных замеров НГК от 16–17.10.2010 г., 20–21.04.2011 г. и 24.10.2011 г. изменений в майкопских отложениях не отмечается.

Уровень жидкости по данным НГК за колонной отмечается на глубине 11,5 м. Динамики уровня за эксплуатационной колонной не наблюдается.

При сопоставлении текущих замеров НГК от 20–21.04.2011 г. и замеров от 16–17.10.2010 г. уровень жидкости в эксплуатационной колонне отмечается на глубине 30,1 м. Динамика уровней жидкости показана в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика уровней жидкости

Дата исследования	Уровень в стволе (э/колонне)	Уровень за эксплуатационной колонной
29.09.2008 г.	27,2 (после долива)	11,5
08.04.2009 г.	27,7	11,5
29.09.2009 г.	28,2	11,5
11.04.2010 г.	28,2	11,5
16–17.10.2010 г.	29,3	11,5
20–21.04.2011 г.	30,1	11,5
24.10.2011 г.	30,1	11,5

Скважина № 40нб (рис. 2) расположена на юге структуры. Максимальная глубина прохождения приборов 1480,0 м (II пласт меловые отложения). Башмак НКТ ($d = 73$ мм) отбивается на отметке 1413,4 м (заявленная 1413,0 м). При сопоставлении временных замеров НГК от 07.04.2011 г. и от 02.11.2011 г. изменений не отмечается.

Газоводяной контакт отмечается на глубине 1433,6 м (абсолютная отметка – 1369,3 м) и совпадает с замерами от 07.04.2011 г., 11.04.2007 г. и 09.09.2007 г. По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замера от 07.04.2011 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума и зоцена не отмечается.

Уровень жидкости в стволе скважины по текущим замерам РК и ГДК отмечается на глубине 1433,6 м, что соответствует глубине уровня жидкости при замере от 07.04.2011 г.

По данным термометрии температура на глубине 1434,0 м (середина интервала перфорации) – 47,96 °С, на забое 1469 м (остановка прибора) – 50,1 °С. По данным манометрии давление на глубине 1434,0 м (середина интервала перфорации) – 114,9 атм., на забое 1469 м (остановка прибора) – 118,5 атм.

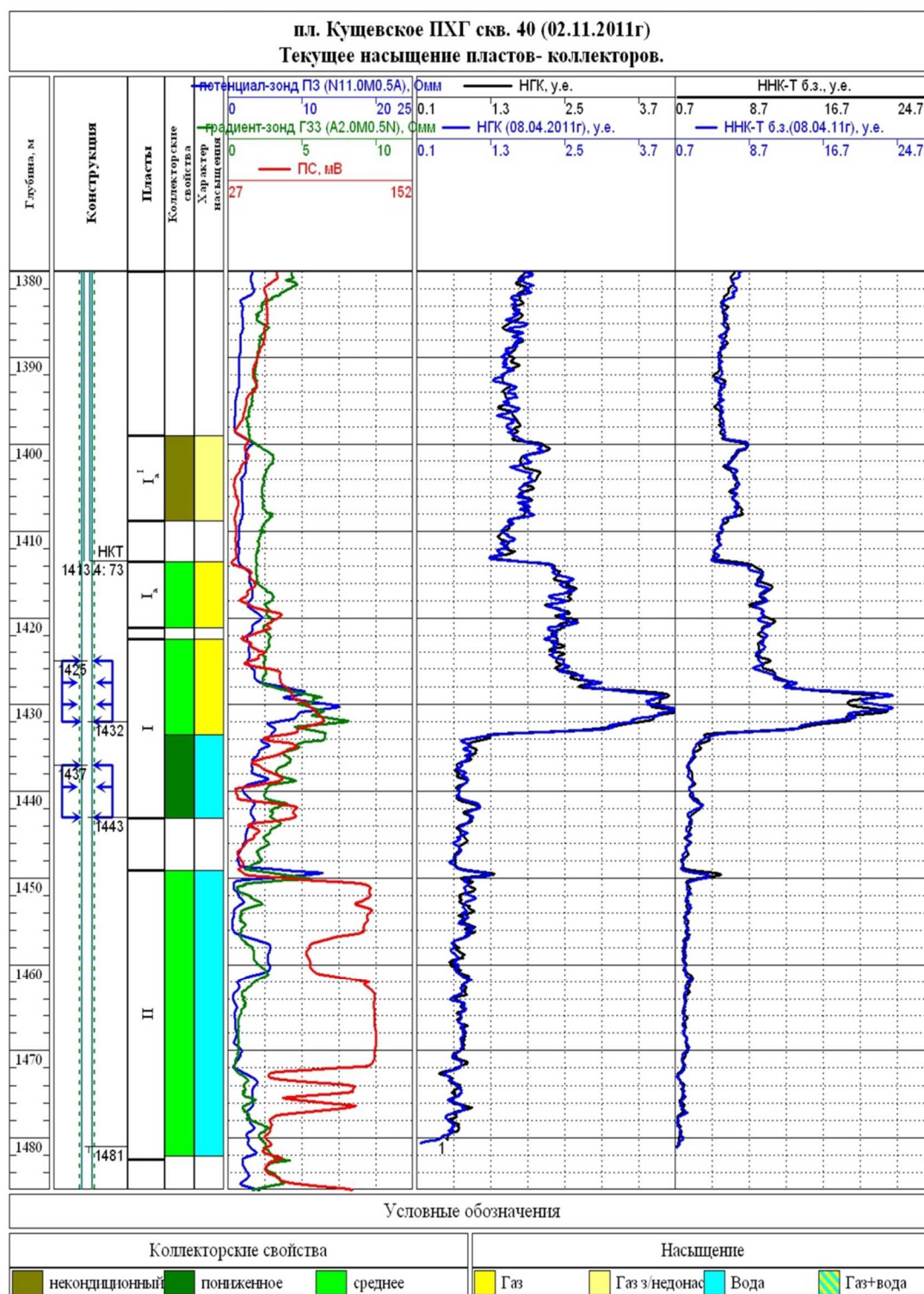


Рисунок 2 – Временные сопоставления РК (скважина № 40нб)

Скважина № 323г (рис. 3) расположена в сводовой части структуры. Максимальная глубина прохождения приборов – 1321,8 м.

При сопоставлении временных замеров НГК от 27.04.1994 г., 15.10.2010 г., 19–20.04.2011 г. и 21.10.2011 г. изменений в отложениях майкопа не отмечается.

При сопоставлении текущего замера НГК, ННК, ИННК и замера за 19-20.04.2011 г. изменений не отмечается. Отложения продуктивной толщи (Ia' – 1208–1212,8 м; Ia – 1216,8–1229,0 м; I – 1234,0–1250,0 м) характеризуются как газонасыщенные; пласт II – 1253–1317,2 м – водонасыщенный. Газоводяной контакт отмечается на глубине 1250,0 м (абс.отм. – 1221,0 м).

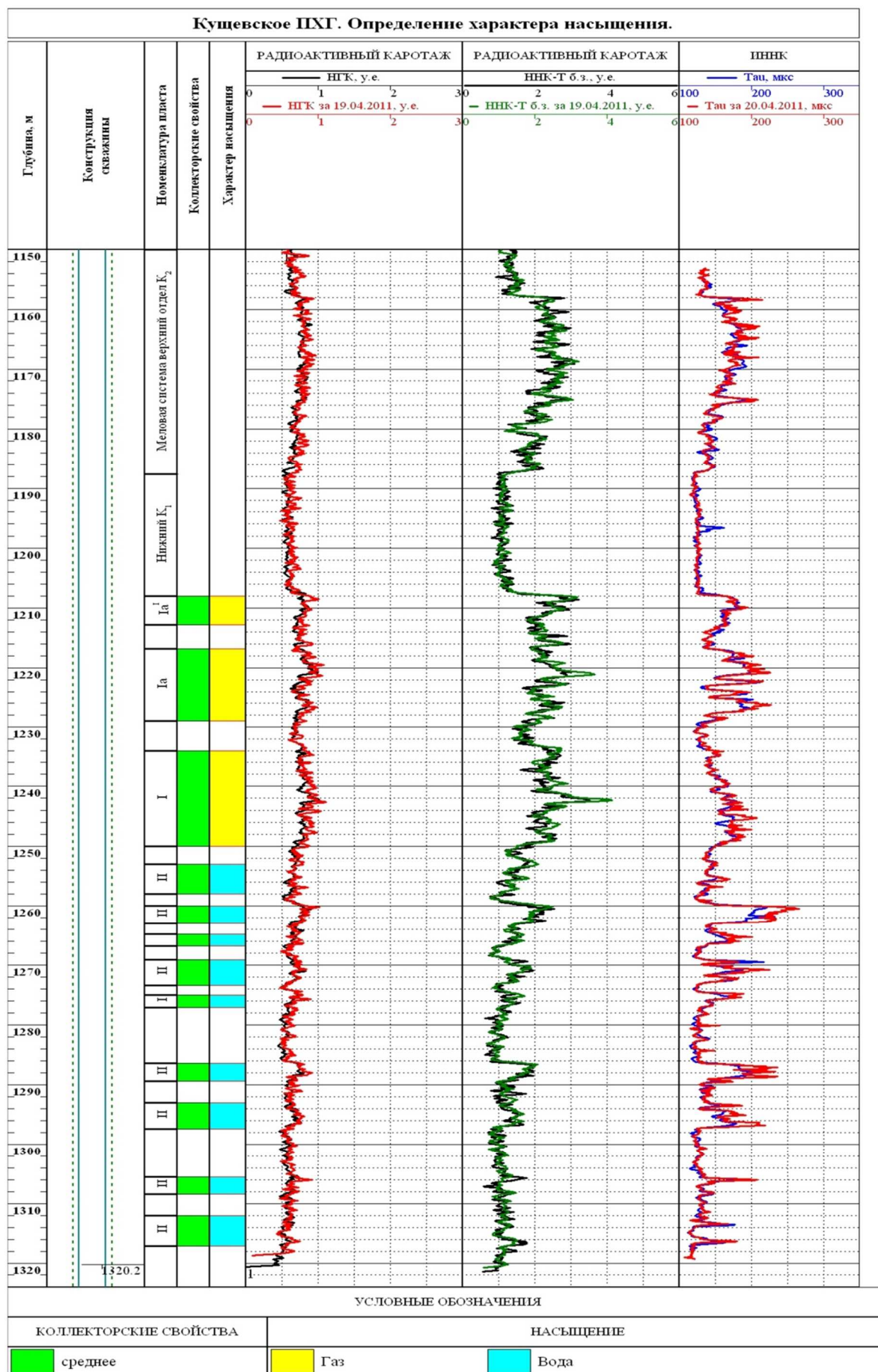


Рисунок 3 – Сопоставление данных НГК, 2ННК и ИННК (скважина № 323г)

По данным ГИС-бурения и временным исследований РК пласты в интервалах:

Пласт	Интервал, м	Насыщение
Ia'	1208,0–1212,8	газонасыщенный
Ia	1216,8–1229,0	газонасыщенный
I	1234,0–1250,0	газонасыщенный
II	1253,0–1317,2	водонасыщенный

По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замера от 15.10.2010 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума, эоцена, верхнего и нижнего мела не отмечается.

Уровень жидкости в эксплуатационной колонне по НГК отмечается на глубине 45,9 м.

Скважина № 44г (рис. 4) расположена на юго-западе структуры.

Максимальная глубина прохождения приборов с учётом мёртвой зоны (м.з.): НГК (м.з. 0,46м) – 1481,0 м; 2ННКбз – (м.з. 0,45 м) – 1381,0 м; ИННК (м.з. 1,8) – 1478,9 м.

По данным ГИС-бурения и временных исследований РК в данной скважине в майкопских отложениях интервал 412,7–432,9 м – газонасыщенный, 432,9–466,9 м – газ + вода, 466,9–469,4 м – газ + вода с низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), 469,4–523,7 м – водонасыщенный с низкими ФЕС. Хадумский пласт в интервале 571,7–594,7 м – водонасыщенный с низкими ФЕС.

При сопоставлении текущего замера РК и замеров от 09.10.2010 г. и 21.04.2011 г. изменений показаний в интервале исследованных продуктивных пластов не отмечается, по насыщению коллекторы характеризуются:

- пласт Ia' (1374,0–1378,0 м) – газонасыщенный не кондиционный;
- пласт Ia (1383,2–1392,4 м) – газонасыщенный;
- пласт I (1394,4–1409,6 м) – газонасыщенный;
- пласт II (1420,0–1449,0 м) – водонасыщенный;
- пласт III (1453,0–1480,0 м) – водонасыщенный.

При сопоставлении временных замеров ИННК от 21.04.2011 г. и текущего изменений не отмечается.

По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замера от 21.04.2011 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума и эоцена не отмечается.

Пласт (свита)	Интервал, м	Насыщение
Майкоп	412,7-432,9	газонасыщенный
Майкоп	432,9-466,9	газ + вода
Майкоп	466,9-469,4	газ + вода с низкими ФЕС
Майкоп	469,4-523,7	водонасыщенный с низкими ФЕС
Хадум	571,7-594,7	водонасыщенный с низкими ФЕС
Ia'	1374,0-1378,0	газонасыщенный некондиционный
Ia	1383,2-1392,4	газонасыщенный
I	1394,4-1409,6	газонасыщенный
II	1420,0-1449,0	водонасыщенный
III	1453,0-1480,0	водонасыщенный

По данным метода НГК уровень жидкости в эксплуатационной колонне отмечается на глубине 22,5 м (09.10.2010 г. уровень жидкости в э/колонне отмечался на глубине 16,6 м, 21–22.04.2011 г. – 18,3 м), уровень жидкости за эксплуатационной колонной – на глубине 5,5 м.

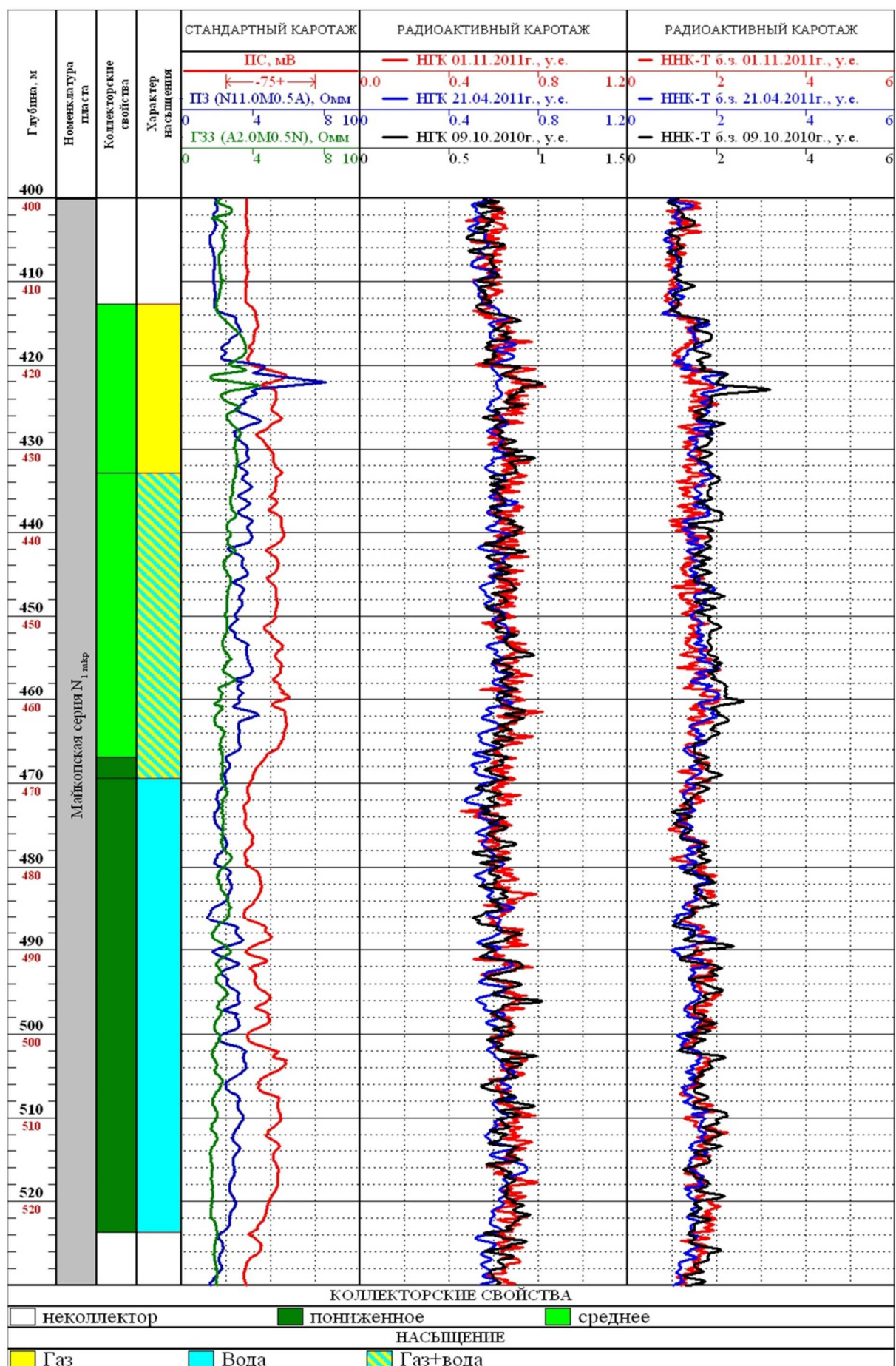


Рисунок 4 – Текущее насыщение коллекторов майкопской свиты (скважина № 44г)

Контроль за герметичностью покрышки, межколонными и заколонными газопроявлениями

Для экологического контроля вышезалегающих над ПТ пластов-коллекторов, своевременного выявления возможных перетоков газа из резервуара ПХГ в вышезалегающие отложения и осуществления контроля геофизическими методами за возможными техногенными скоплениями были исследованы контрольные скважины: №№ 29 (хадум), 27 (караган), 32 (майкоп), 41 (верхний мел), 43 (эоцен), 64 (хадум), 227 (хадум), 228 (майкоп), 313 (верхний мел), 315 (майкоп) и наблюдательные пьезометрические скважины №№ 2, 17 и 31. В указанных скважинах проводятся систематические гидрогеологические исследования силами СевКавНИПИгаз (г. Ставрополь). Целью этих исследований является получение информации о пластовых давлениях, температуре, газонасыщенности, химическом составе водорастворённого газа, химическом составе вод.

Основные результаты по контрольно-наблюдательным скважинам:

Скважина № 29к (хадумский горизонт) (рис. 5) расположена в северной части структуры.

При сопоставлении временных замеров НГК, 2ННК, ИННК от 24.04.1991 г., 23.07.2008 г. и 20.10.2011 г. изменений не отмечается. По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замера от 24.04.1991 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума не отмечается.

Температура на глубине 516,0 м (остановка прибора) – 23,4 °С. Давление на глубине 516,0 м (остановка прибора) – 52,4 атм.

По данным термометрии, манометрии уровень жидкости в НКТ на глубине 449,8 м. Уровень по НГК в НКТ отмечается на глубине 427,5 м. По данным 2ННК в НКТ уровень на глубине 417,7 м. В э/к уровень жидкости по данным РК на глубине 501,0 м. Подъём уровня жидкости в НКТ при проведении ГИС объясняется падением $P_{буф}$ во время исследований (стравливание давления через сальниковое устройство).

Данные устьевых датчиков

№ п/п	Вид исследования	$P_{буф}$, атм.	$P_{загр}$, атм.
1	ГДК	46,4–45,0	43,9–43,3
2	НГК	45,5–44,6	43,3–42,8
3	2-ННК	45,0–43,7	43,3–42,8

Скважина № 27к (караганский горизонт) (рис. 6) расположена в северо-восточной части структуры. Максимальная глубина прохождения приборов 331,9 м (караганский горизонт). Башмак НКТ (d-73 мм) по РК отбивается на глубине 305,2 м.

15.10.2008 г. проведена перфорация в интервалах 321,0-331,0 м (караганский горизонт). При испытании получен приток воды с растворённым газом.

При сопоставлении данных текущего замера РК с замером 15.10.2008 г. изменений не отмечается. Насыщение пластов-коллекторов караганского горизонта характеризуется как водонасыщенные.

Уровень жидкости в НКТ по данным манометрии, термометрии, НГК, 2ННК на глубине 19,3 м. Уровень жидкости в э/колонне по данным НГК, 2ННК на глубине 17,7 м, за э/колонной уровень – 7,4 м.

По данным временных сопоставлений НГК текущего замера и измерений от 15.10.2008 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной не отмечается.

По данным термометрии температура на глубине 326,0 м (середина интервала перфорации) 14,9 °С. По данным манометрии давление на глубине 326,0 м (середина интервала перфорации) – 30,4 атм.

Скважина № 32к (майкопский горизонт) (рис. 7) расположена в северной части структуры. Максимальная глубина прохождения приборов – 389,6 м. Башмак НКТ отбивается на глубине 248,4 м.

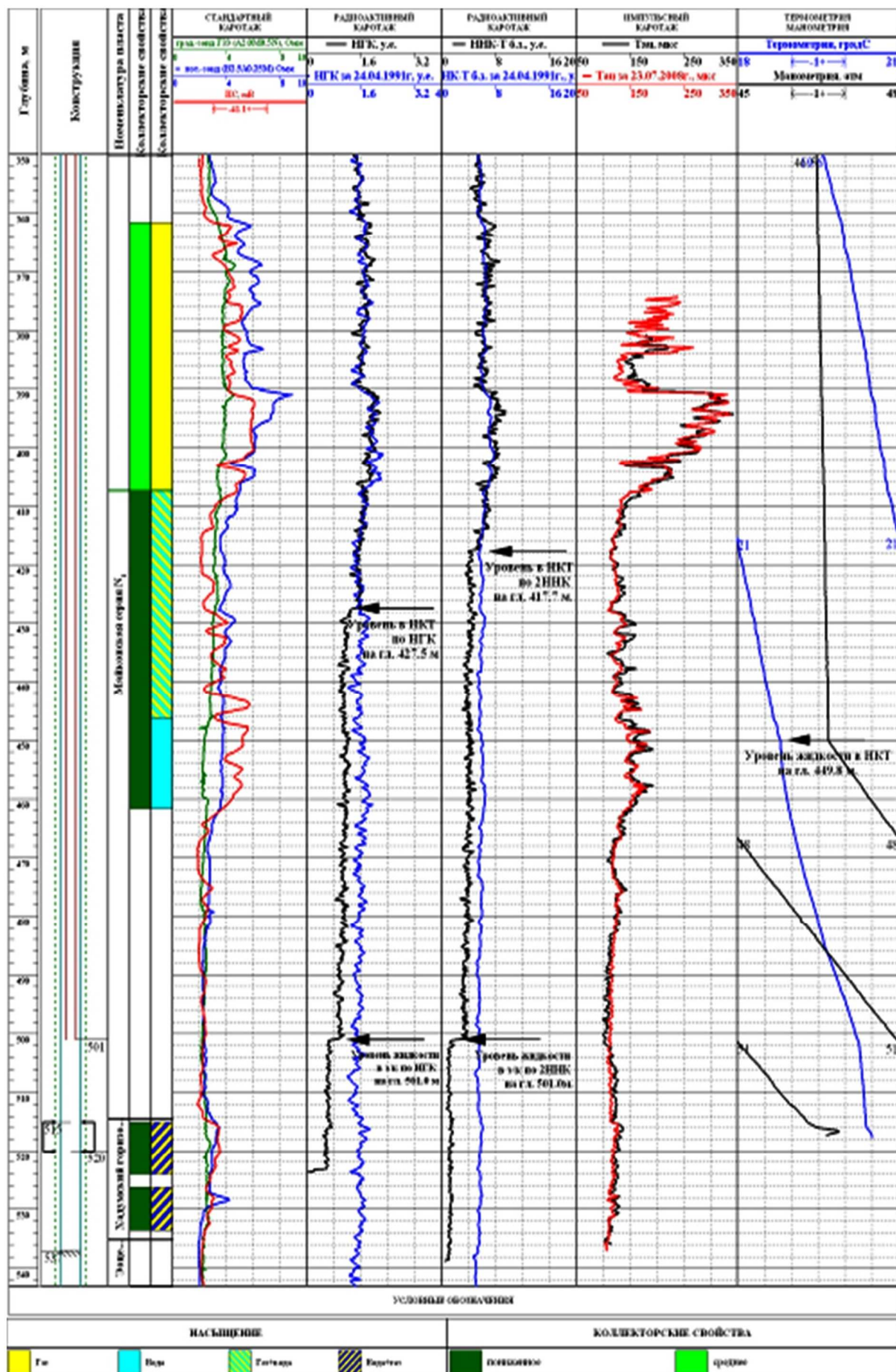


Рисунок 5 – Сопоставление временных замеров РК и ГДК (скважина № 29к)

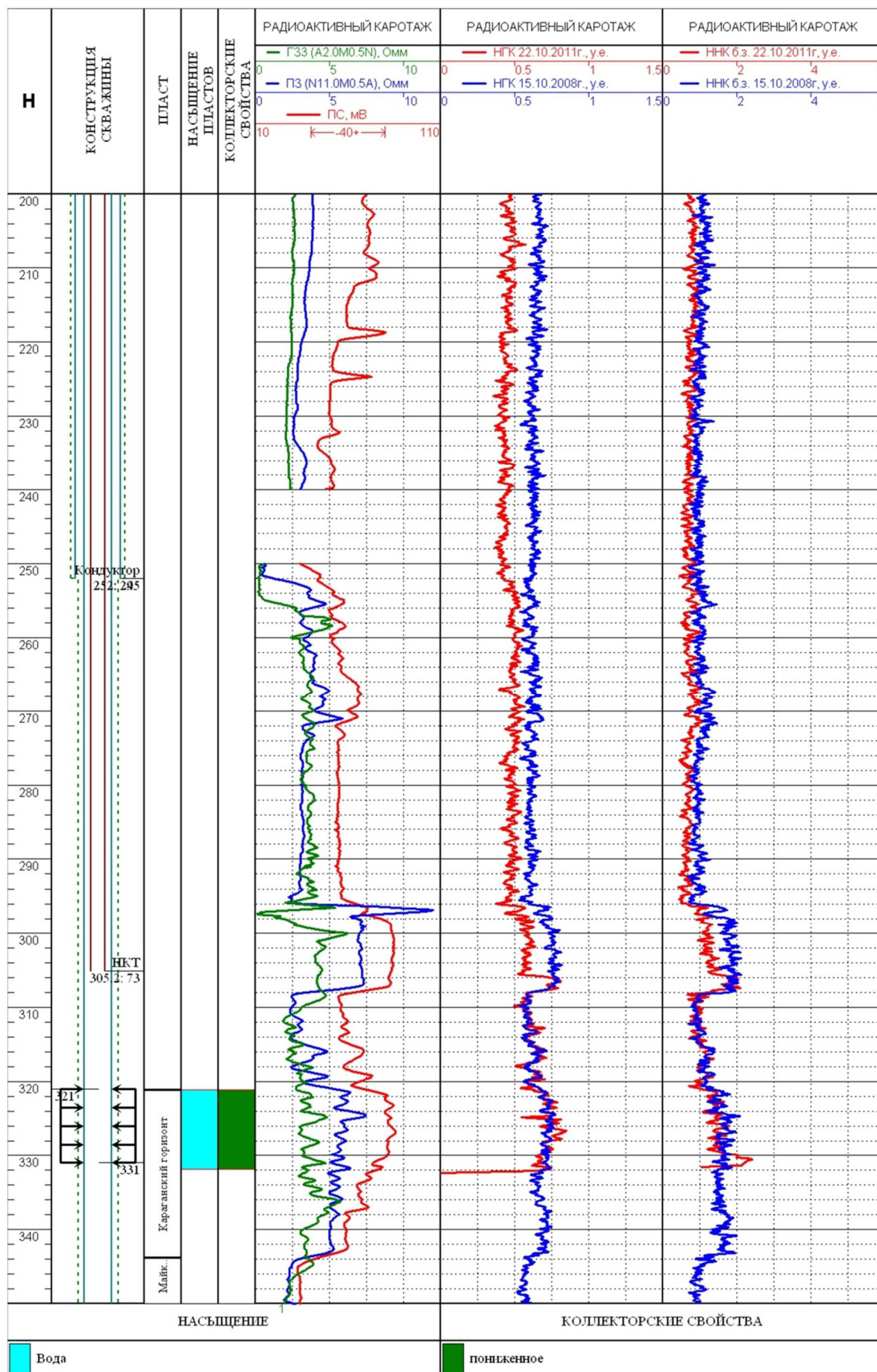


Рисунок 6 – Сопоставление временных замеров РК (скважина № 27к)

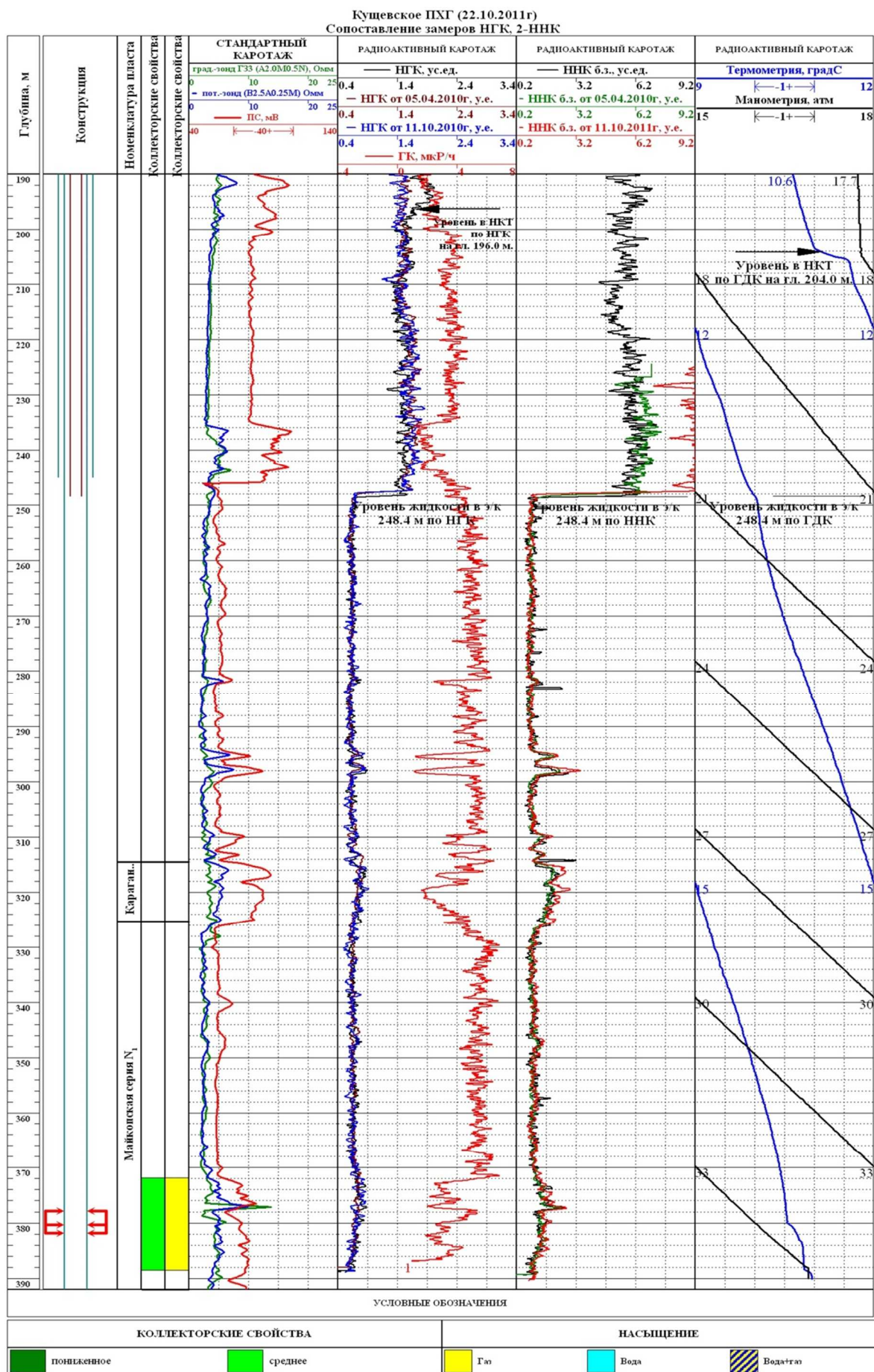


Рисунок 7 – Сопоставление временных замеров РК (скважина № 32к)

При сопоставлении временных замеров НГК и 2ННК от 05.04.2010 г., 11.10.2010 г. и 22.10.2011 г. изменений не отмечается.

По данным временных сопоставлений текущего замера НГК и замера от 11.10.2010 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа не отмечается.

По данным термометрии температура на глубине 380,0 м (середина интервала перфорации) 16,6 °С, на забое (гл. 388,0 м) температура – 16,8 °С. По данным манометрии давление на глубине 380,0 м (середина интервала перфорации) 34,0 атм., на забое 34,8 атм.

По данным НГК уровень жидкости за эксплуатационной колонной на глубине 5,2 м, в эксплуатационной колонне – 248,4 м, в НКТ – 196,0 м. По данным 2ННК уровень жидкости за эксплуатационной колонной на глубине 5,2 м, в эксплуатационной колонне – 248,4 м. По данным термометрии, манометрии уровень жидкости в эксплуатационной колонне – 248,4 м, в НКТ – 204,0 м.

По данным манометрии с глубины 0 м до 204,0 м скважина заполнена флюидом плотностью 0,05 г/см³, в интервале 204,0–248,4 м – плотность 0,6–0,8 г/см³, с глубины 248,4 м до 389,6 м (остановка прибора) плотность составляет 0,9–1,0 г/см³.

Уровень жидкости по данным НГК и ННК за эксплуатационной колонной – 5,2 м (динамики уровня не фиксируется).

Данные устьевых датчиков

№ п/п	Вид исследования	$P_{буф}$, атм.	$P_{загр}$, атм.
1	ГДК	17,7–18,6	25,0
2	НГК	19,4	25,0
3	2-ННК	19,4	24,8

Скважина № 43к (эоценовые отложения) (рис. 8) расположена в сводовой части структуры. Максимальная глубина прохождения приборов с учётом мёртвой зоны (м.з.): НГК (м.з. 0,3 м) – 834,7 м; 2ННК-Тмз – (м.з. 0,2 м) – 835,3 м; ГДК (м.з. 0,3) – 825,5 м. Башмак НКТ (d – 73/89 мм) отмечается на глубине 715,2 м (заявленная 712 м).

При сопоставлении временных замеров НГК в майкопских отложениях от 09.10.2008 г. и 22.10.2011 г. изменений не отмечается.

По данным 2ННК пласты-коллекторы 819–829 м, 831,2–835,1 м (остановка прибора) отложений эоцена характеризуются как водонасыщенные.

По данным манометрии и термометрии, ствол скважины заполнен водой до устья.

По данным метода НГК уровень жидкости за НКТ отмечается на глубине 138,7 м, по данным метода 2ННКт – 141,1 м.

Уровень жидкости за эксплуатационной колонной по данным РК фиксируется на глубине 5,0 м.

По данным временных сопоставлений текущего замера НГК, замера от 19.12.2003 г. и замера от 09.10.2008 г. наличие ВГС за эксплуатационной колонной в пластах-коллекторах отложений карагана, майкопа, хадума не отмечается. Замеры проводились с включенными устьевыми датчиками.

Данные устьевых датчиков

№ п/п	Вид исследования	$P_{буф}$, атм.	$P_{загр}$, атм.
1	НГК+ГК	2,4–2,6	16,3–16,5
2	2-ННК	3,4–3,6	16,3–16,5

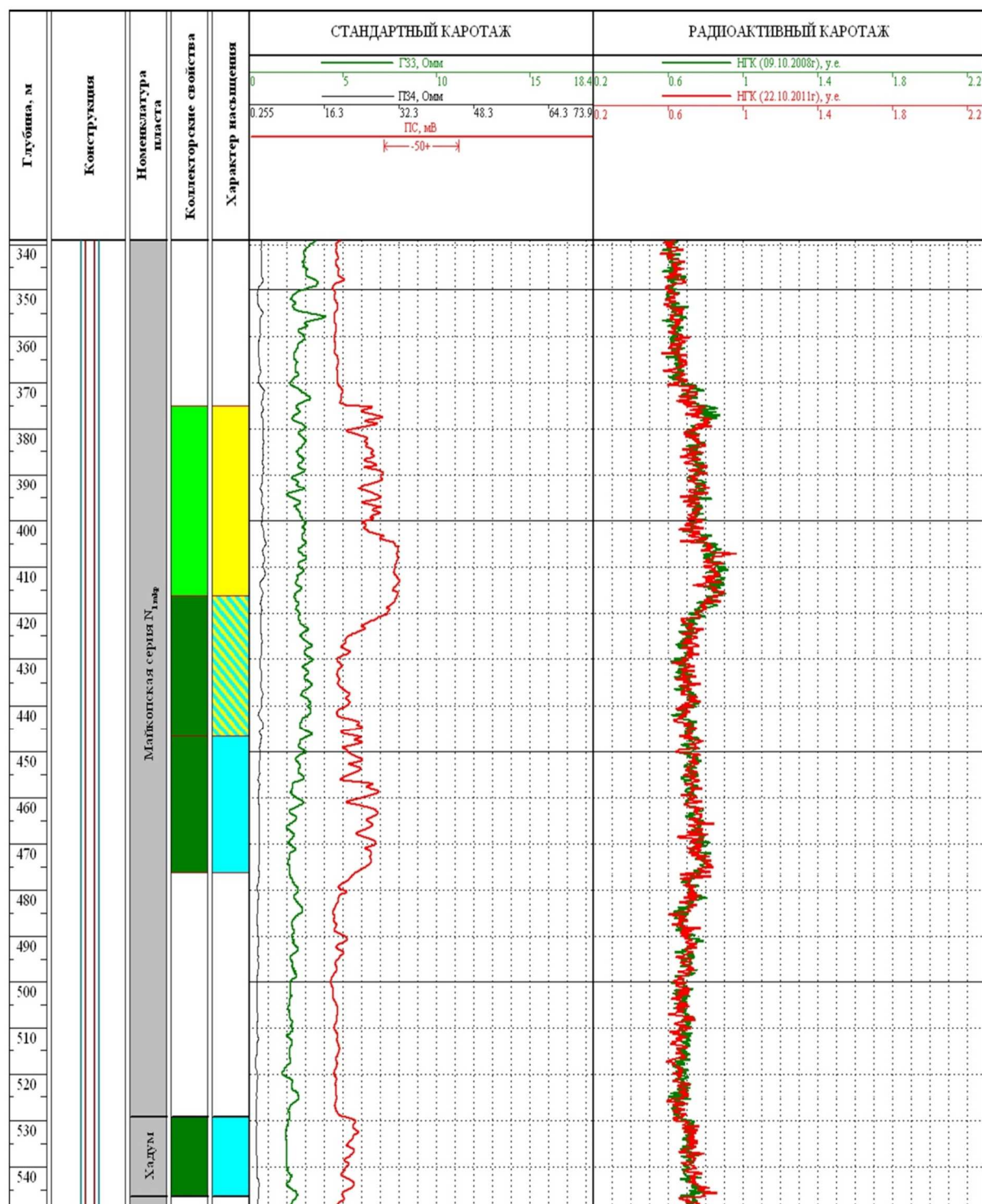


Рисунок 8 – Временные сопоставления НГК в майкопских отложениях (скважина № 43к)

Определение текущей и остаточной газонасыщенности объектов закачки и отбора газа в наблюдательных скважинах Кущёвского ПХГ

Современная методика ВНИИЯГГ (1996 г.) предполагает использование в качестве опорных – газоносного и водоносного пластов с пористостью, одинаковой с исследуемым пластом. Из теоретических и практических работ известно, что чувствительность метода НГК к изменению водородосодержания пласта (W) максимальна при низких значениях и минимальна при высоких величинах водородосодержания. При постоянной пористости и составе скелета значение скорости счёта (J) однозначно связано с изменением газонасыщенности K_n или объёмной влажности $W_B = K_n \cdot K_g$. Вид зависимости величины J от $lg(K_n)$ близок к линейному. Аналогичная закономерность

наблюдается и для метода ННКТ. Для газонасыщенных пластов она основана на связи объёмной влажности W_e и скорости счёта J . Считается, что при значениях $K_n > 0,15$ на эту зависимость не влияет пористость исследуемых коллекторов в диапазоне объёмной влажности 0,03–0,36.

Связь показаний нейтронного каротажа с K_e для методов НГК и НКТ выражается уравнением вида (В.Н. Дахнов):

$$P_n^* = J_k/J_e = 1 - A \cdot \lg(1 - K_e), \quad (1)$$

где P_n^* – относительный параметр насыщения; J_k и J_e – соответственно показания НК против газоносного пласта и против этого же пласта полностью насыщенного водой; A – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий измерений и применяемой аппаратуры.

Показания НК против исследуемого пласта при $K_e = 0,6$ (максимально возможная газонасыщенность). Тогда для гранулярных нижнемеловых коллекторов Кущёвского ПХГ зависимость показаний НГК и НКТ от K_e описывается единой зависимостью вида:

$$q = -0,79 \cdot \lg(1 - K_e). \quad (2)$$

Эффективное применение данной методики возможно при точном определении пористости опорных пластов. По палеткам «Halliburton» проведён анализ закономерности изменения водородосодержания для неглинистых коллекторов с пористостью от 0,15 до 0,35 от газонасыщенности и получена соответствующая палетка $Kt = F(q, K_n)$.

Из этих данных однозначно следует, что для компенсированного прибора НКТ зависимость (2) описывает только общий ход кривой, и для коллекторов с различной пористостью она аппроксимируется с различными значениями коэффициентов. Автором рекомендуется избирательное использование данной методики, в особо благоприятных условиях, для экспресс-анализа изменения газонасыщенности.

Методика К.М. Абдуллаева и др. (1988) предусматривает использование в качестве опорных пластов неразмываемые глины и газоносный пласт с любыми высокими значениями K_n и K_e . Экспериментальная палетка была получена по результатам повторных замеров НГК в четырёх скважинах газового месторождения Газли. Среднеквадратическая относительная погрешность определения K_e составила от 30 до 5 % при изменении газонасыщенности от 0,2 до 0,9. Данная методика является более универсальной в выборе опорных пластов, поскольку учитывает пористость коллекторов. Основным недостатком ее является неучёт содержания глинистого материала в составе проницаемых пород.

Более совершенной методикой оценки $K_e^{\text{тек}}$ по данным НК является усовершенствованная автором методика ВНИИГАЗ (2000 г). Соискателем, на основании имитационного моделирования, выполнен анализ закономерности изменения водородосодержания газонасыщенных коллекторов от газонасыщенности и получены соответствующие палетки типа $Kr = f(W, C_n)$. Модель глины в рассчитанных палетках принята следующая; содержание связанной воды в молекуле глины – 10 молекул H_2O ; плотность глинистой фракции – 2,87 г/см³. Для выявления закономерности связи газонасыщенности – K_e с водосодержанием – W , пористостью – K_n , и глинистостью – $K_{гп}$ автором использовалась программа моделирования «поле» (ВНИИГеосистем). Из палетки, рассчитанной для неглинистого коллектора без учёта предлагаемых поправок, также следует, что для НК уравнение (2) описывает только общий ход кривой и для коллекторов с соответствующей пористостью существует своя закономерность. При этом погрешности оценки газонасыщенности по нему могут в худших случаях достигать 70 %. Неучёт содержания в порах коллектора глинистых минералов приводит к ещё большим погрешностям. Последнее подтверждается сопоставлением рассчитанных по данным электрических методов значений K_e в открытом стволе и полученных в результате моделирования, а также палетками при $C_{гп} > 0,1$.

Статистическая связь между объёмной глинистостью $K_{гпм}$ и данными гранулометрии $K_{гп}$ выражается уравнением (Шнурман И.Г. 2001):

$$K_{гпм} = 0,45 \cdot K_{гп} - 1,74. \quad (3)$$

С учётом последнего выражения построена палетка зависимости водородосодержания по данным НГК от коэффициента газонасыщенности, при различных значениях пористости коллектора.

Изучение информационных возможности методов НК в наблюдательных скважинах Кущёвского ПХГ при различных типах конструкции скважины, параметрах промысловой жидкости (ПЖ) и фактической геометрии ствола скважины. При замерах нейтронного гамма-каротажа (НТК) в скважинах используются послеинверсионные зонды длиной более 50 см, поэтому показания НТК уменьшаются при возрастании водородосодержания.

С увеличением длины зонда увеличивается глубинность исследований и уменьшается влияние скважинных условий. Для определения пористости коллекторов, насыщенных водой и нефтью, автором рекомендуется применять зонды НГК длиной 60 см, для оценки газонасыщенности – более длинные зонды, длиной от 70 до 90 см и использовать мощные источники нейтронов ($>10^7$ нейтр/с).

Таким образом, автором обоснована методика определения газонасыщенности в наблюдательных скважинах по данным нейтронного каротажа, учитывающая глинистость и информационные возможности методов НК в сложных коллекторах нижнемеловых отложений Кущёвского ПХГ.

Оценка продуктивности коллекторов в действующих скважинах подземных газохранилищ по данным газодинамических исследований

Прогноз продуктивности коллекторов возможен по результатам интерпретации комплекса ГИС в открытом стволе (ГИС-бурение) и гидродинамических исследований скважин (ГДК) в колонне через насоснокомпрессорные трубы (НКТ). Такой прогноз необходим для оценки степени освоённости призабойных зон и прогноза средних удельных дебитов пластов и скважин в целом на начальной стадии разработки месторождения и в процессе эксплуатации.

Автором рассмотрены два принципиально различных подхода к оценке дебитов пластов в продуктивной части разреза скважин.

Первый основан на измерении скорости потока газа по стволу скважины. При этом датчики скорости непосредственно контактируют с потоком и для оценки дебита (Q) того или иного участка необходимо знать скорость (V) и нормальное сечение ($d_{тр}$) потока. Установленная автором связь между скоростью газового потока V и дебитом Q с учётом известного уравнения скорости потока (С.П. Омесь, 1974) имеет вид:

$$V = 4 \cdot P_n \cdot Z / T_n \cdot Q T P d_{тр}^2 - 80400, \quad (4)$$

где V – скорость газа, м/сек; Q – дебит газа, м³/сут.; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа (рассчитывают по зависимости коэффициента сверхсжимаемости от приведённых давлений и температуры); P_n – нормальное давление ($P_n = 1,03$ кг/см²); T_n – нормальная температура ($T_n = 293$ °K); T – температура в исследуемом интервале, °K; P – давление в стволе скважины против исследуемого интервала в кг/см; $d_{тр}$ – диаметр трубы в исследуемом интервале, м.

Дебит отдельного пласта рассчитывается по формуле:

$$Q_n = Q_y - Q_{y(n-1)}, \quad (5)$$

где Q_n – дебит n -го пласта; Q_y – суммарный дебит n пластов; $Q_{y(n-1)}$ – суммарный дебит $(n-1)$ пластов.

Описанная методика достаточно эффективно может применяться для оценки продуктивности пластов при отсутствии механических примесей в потоке газа, однородной породной структуре потока, удовлетворительном метрологическом обеспечении и тарировке используемых механических расходомеров.

Второй подход к оценке дебитов связан с изучением вторичных явлений, вызванных особенностями движения газа по пласту, притока его в ствол скважины и подъёма от забоя к устью и наоборот. Одним из таких методов является термометрия, использующая для оценки дебита дроссельный и каллометрический эффекты, другим – изучение акустических полей в зоне притока. Приборы, в которых реализован этот подход, не требуют

обязательного контакта с движущимся флюидом и знание геометрических параметров потока, что очень важно при исследовании участков разреза, перекрытых насосно-компрессорными трубами. Рекомендуемая автором формула для оценки дебита газа в этом случае имеет вид:

$$q_{пл} = q_{см} \cdot (T_{см} - T_{под}) / (T^* - T_{под}), \quad (6)$$

где $T_{под}$, T^* , $T_{см}$ – температуры газа, подходящую снизу, выходящей из пласта и смеси; $q_{пл}$, $q_{см}$ – количество газа для тех же условий.

Выполненное автором сопоставление оценок проницаемости пластов по данным ГИС и керну с проницаемостью по данным газодинамического каротажа позволяет оценить степень освоённости скважин. Коэффициент проницаемости K_M в призабойной зоне пластов, рассчитанный по данным глубинных газодинамических исследований, как правило, ниже $K_{пр}$ по керну. Это свидетельствует о том, что в исследуемых скважинах требуется очистка их призабойных зон для увеличения продуктивности отдельных пластов и скважин в целом.

Для расчёта дебитов отдельных пластов автором предложена аналитическая зависимость между скоростью потока газа и его дебитом следующего вида:

$$Q = (80400 \cdot n \cdot T_H \cdot d_{тр}^2 / 4zn) \cdot (P_{заб} / T_{заб}) \cdot V, \quad (7)$$

где V – скорость потока газа, м/сек; Q – количество газа, м³/сут; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа; P_H – нормальное давление (1,03 кг/см³); $P_{заб}$ – забойное давление в стволе скважины против исследуемого интервала, кг/см; T_H – нормальная температура, равная 298 °К; $T_{заб}$ – температура на забое скважины против исследуемого интервала, °К; $d_{тр}$ – внутренний диаметр трубы в исследуемом интервале, м.

Следующим этапом работы явилось определение коэффициентов фильтрационного сопротивления a и b отдельных работающих пластов, входящих в уравнение притока газа к забою скважины. Это уравнение характеризует зависимость потерь давления в пласте ($P_{101}^2 - P_{мг}^2$) от дебита газа Q и выражается формулой:

$$P_{пл}^2 - P_{заб}^2 = a \cdot Q + \epsilon \cdot Q^2, \quad (8)$$

где a и b коэффициенты фильтрационного сопротивления, МПа²/тыс. м³/сут.

Коэффициент a и b зависят от параметров призабойной зоны пористой среды и конструкции забоя скважины. При движении газа в изотропном пласте к несовершенной по степени и характеру вскрытия скважине коэффициенты a и b определяются из выражений:

$$a = (116 \cdot m \cdot Z \cdot T_{пл}) / (p \cdot K \cdot h \cdot P_{ам} \cdot T_{СТ}) \cdot (\ln(R_K / R_c) + C_1 + C_2), \quad (9)$$

$$b = (p_{СТ} \cdot Z \cdot P_{ам} \cdot T_{пл} / 2p^2 \cdot T_{см}) \cdot ((1/R_c) - 1/R_K) + C_3 + C_4), \quad (10)$$

где m – коэффициент динамической вязкости газа при $P_{пл}$ и $T_{пл}$, сП; K – проницаемость пласта, Д; h – эффективная мощность, м; $p_{см}$ – плотность газа при $P_{ам}$ и $T_{см}$; l – коэффициент макрошероховатости; R_K – радиус контура питания, м; R_c – радиус скважины, м; C_1 и C_2 – коэффициенты несовершенства по степени вскрытия; C_3 и C_4 – коэффициенты несовершенства по характеру вскрытия.

Поскольку зависимость между дебитом газа Q и разностью квадратов ($P_{пл}^2 - P_{заб}^2$) не является линейной, значение удельных дебитов пластов, определяемых выражением $n = Q / (P_{пл}^2 - P_{заб}^2) \cdot h_{эф}$, рассчитаны автором для идентичных условий эксплуатации. Пересчёт дебитов на первоначальное пластовое давление залежи и рабочую депрессию осуществляется при этом по формуле:

$$Q_{пересеч} = -a \pm \sqrt{a^2 + 4\epsilon (P_{пл}^2 - P_{заб}^2)} / 2\epsilon. \quad (11)$$

На основании анализа современного состояния геофизических исследований Кущёвского ПХГ автором рекомендуется соблюдать следующие условия скважинных исследований:

- исследования должны проводиться одним и тем же типом прибора;
- выбранный аппаратный комплекс должен быть проэталонирован на имитаторах пористости;
- скорость каротажа должна быть одинаковой для всей группы замеров;
- исследования должны быть проведены после расформирования зоны проникновения.

Таким образом, усовершенствован способ оценки продуктивности сложных нижнемеловых коллекторов Кущёвского ПХГ по данным газодинамического каротажа на основе двух универсальных методик, различающихся по регистрируемым физическим полям и измеряемым параметрам пластов, скважины и потока флюида. Предложена технология проведения газодинамических исследований для максимально информативной и точной оценки подсчётных параметров пластов-коллекторов.

Эффективность применения разработанной методики оценки текущей газонасыщенности и продуктивности коллекторов в геофизических и действующих скважинах Кущёвского ПХГ

При оценке эффективности разработанных соискателем новых технико-методических решений в наблюдательных и действующих скважинах Кущёвского ПХГ, учитывающих флюидонасыщение и газодинамические процессы в пласте, индивидуальные особенности и метрологию промыслово-геофизической аппаратуры определялись следующие характеристики работы пласта и скважины в целом:

- продуктивности пласта и расхода флюида;
- энергетических параметров пласта ($P_{пл}$, $P_{заб}$, $P_{нас}$, $T_{пл}$, $T_{заб}$);
- интервалов притока и поглощения жидкости;
- мест притока газа.

Для оценки эффективности методики определения K_e в наблюдательных скважинах автором были использованы исследования, проводившиеся с марта 1995 года по апрель 1998 года двухзондовым прибором ННКт – СРК Щ5 в скважине № 318н. Для этого прибора были построены зависимости показаний (J) от пористости имитаторов (K). По ним в дальнейшем и находились значения кажущейся (K_n) пористости. Определены текущие значения коэффициента газонасыщенности для прослоев пласта Ia. Пласт Ia' не рассматривался из-за того, что в нём продолжается процесс расформирования зоны проникновения.

Особый интерес представляет исследование динамики расформирования зоны проникновения в пласте Ia. Изменение показаний большого зонда 2-х ННКт в верхней части пласта обусловлены постепенным вытеснением фильтрата бурового раствора. В то же время нижняя часть пласта с июля по август 1994 года также характеризуется повышением показаний нейтронного каротажа. В период отбора, с августа по декабрь 1994 года, в интервале 1386–1390 м регистрируется уменьшение показаний, что, в свою очередь, можно объяснить оттеснением пластовой воды из практически расформированной зоны проникновения в верхней части пласта Ia.

Если рассматривать временные сопоставления показаний большого зонда ННКт, сгруппированные по режимам работы подземного хранилища, то из этих данных видно, что наибольшая динамика изменений показаний нейтронного каротажа отмечается в нижней части пласта Ia (качественный признак).

При этом хорошо прослеживается связь между режимом (циклом) подземного газохранилища и динамикой изменения интенсивности поля тепловых нейтронов: при исследованиях после закачки (весна-лето) показания ИНК выше по отношению к показаниям НИК после цикла отбора (осень-зима). В прослоях пласта Ia коэффициент газонасыщенности изменялся 0,15–0,42.

Наименьшими значениями газонасыщенности характеризуется интервал 1385,2–1388,4 м, здесь максимальное значение K_e – 0,2 совпадает с окончанием цикла закачки (октябрь 1996 г.). Интервал 1384,5–1388,4 м характеризуется периодическим изменением газонасыщенности связанным с цикловым режимом работы ПХГ. Данный интервал можно отнести к газоводяной переходной зоне.

Интервал 1380,3–1385,2 м характеризуется повышением значений K_e до ноября 1995 года и практически неизменяющимся после этой даты. Временные изменения ко-

эффициентов газонасыщенности по данным нейтронного каротажа до ноября 1995 года в основном связаны с расформированием зоны проникновения. Начиная с замера 30.11.1995 г. коэффициенты газонасыщенности всех прослоев верхней части пласта Ia, стабилизируются и не меняются во времени.

Таким образом, установлено, что эксплуатация Кущёвского ПХГ (в районе расположения наблюдательной скважины 318н) тяготеет к газовому режиму. В случае нарушения системных допусков по объёмам отбора активного газа на ПХГ, возникнет ситуация с аномальным понижением $P_{пл}$ и снижением коэффициентов газонасыщенности переходной зоны пласта Ia ниже критических. Это приведёт к появлению газоводяного контакта и упруговодонапорному режиму эксплуатации ПХГ. Повышение объёмов закачки газа в зоне скважины № 318н обусловит появление газоводяного контакта в пласте Ia. Пластовое давление в пласте Ia при этом должно возрасти на 4–5 МПа.

Пример количественной оценки, по предлагаемой методике, текущего коэффициента газонасыщенности пласта Ia в наблюдательной скважине № 318 Кущёвского ПХГ приводится в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение газонасыщенности прослоев пласта Ia скважины № 318н

Интервал	Закачка	Отбор	Закачка	Отбор	Закачка	Отбор	Закачка
1380,3–1381,7	39,51	42,04	42,67	41,94	41,84	41,99	41,99
1381,7–1382,9	34,76	36,13	36,81	36,19	36,08	36,18	36,58
1382,9–1383,9	31,84	34,12	34,24	34,02	33,72	33,83	33,91
1383,9–1384,5	24,53	28,65	26,26	29,00	26,84	29,21	28,04
1384,5–1385,2	30,56	32,06	32,50	32,17	32,13	32,28	32,57
1385,2–1387,4	18,97	19,05	16,93	19,29	17,06	19,20	18,70
1387,4–1388,4	14,46	19,95	15,41	20,01	16,84	19,95	17,83

Таким образом, выполненные автором исследования позволили провести количественную интерпретацию динамики насыщения продуктивного пласта рекомендовать меры по предотвращению прорывного обводнения наиболее продуктивных участков скважин, производить прогнозирование состояния залежи в целом и по отдельным участкам.

Очевидно, что определение текущего газонасыщения в наблюдательных скважинах отличается по ряду параметров от эксплуатационных. К таковым относятся: многофазное заполнение ствола скважины, перфорация продуктивных интервалов, наличие насосно-компрессорных труб, а также иные динамические характеристики эксплуатации скважины.

Для того чтобы оценить применимость разработанной методики в эксплуатационных скважинах, были рассмотрены проведённые в июле 2001 года комплексные газодинамико-геофизические исследования по скважине № 178э Кущёвского подземного хранилища газа. Эти исследования проводились с целью:

- определения работающих интервалов (профиля приёмистости) и фильтрационных параметров;
- оценки текущей газонасыщенности продуктивной толщи нижнемеловых отложений (качественный уровень);
- оценки относительной продуктивности совместно эксплуатируемых пластов;
- определения интервальных дебитов, забойных и пластовых давлений.

Исследования проводились на различных стационарных и нестационарных режимах работы скважины. На всех режимах регистрировались устьевые буферные и затрубные давления.

Для определения расходов газа на режимах были использованы следующие формулы (В.Н. Дахнов, С.П. Омесь, 1980):

$$Q = K_{сут} \cdot K_{поправ} \cdot h_{план}, \quad (12)$$

где $h_{план} = \% \text{ план} \cdot 0,075$ (% план – показания на планшете дифференциального манометра);

$$K_{\text{поправ}} = P_{\text{абс}}/T \cdot Z, \quad (13)$$

где T – температура на коллекторе, °K; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа.

Коэффициент $K_{\text{сум}}$ определяется на Кущёвской СПХГ, и для эксплуатационной скважины № 178 составляет 69363.

Для определения объёма закачиваемого газа автором использована зависимость между комплексным параметром ΔT и расходом газа (Q), определенным на групповой станции для этого времени периода.

Определение дебита i -го пласта проводилось в следующем порядке:

- определение ΔT выше исследуемого интервала;
- определение расход i -го пласта. Обработка данных газодинамических исследований проводилась методом индикаторных линий (ИЛ). Определение расхода производилось по зависимости объёма закачиваемого газа от показаний термоманометра.

Для интерпретации данных автором использовано уравнение приток пш щ забойю скважины, характеризующее зависимость потери энергии пласта ($P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{заб}}^2$) от расхода газа (Р.А. Резванов, 1988):

$$P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{заб}}^2 = a \cdot Q + b \cdot Q^2 + C, \quad (14)$$

где a и b – коэффициенты фильтрационного сопротивления, зависящие от параметров призабойной зоны пласта и конструкции забоя скважины; $P_{\text{пл}}$ и $P_{\text{заб}}$ – соответственно пластовое и забойное давления, МПа; Q – расход газа при $P_{\text{атм}}$ и $T_{\text{ст}}$, м³/сут.

По полученным в ходе исследований на стационарных режимах фильтрации значениям $P_{\text{заб}}$ и Q_i , построены графики зависимости $P_{\text{заб}} = f(Q)$ для всей продуктивной толщи и поинтервально. По значениям $P_{\text{заб}}$ и Q , методом наименьших квадратов (МНК) было найдено уравнение зависимости $P_{\text{заб}} = f(Q)$. Пластовое давление определялось как отрезок, отсекаемый на оси ординат полученной линией регрессии.

По вычисленным значениям $P_{\text{пл}}$ найдены отношения $(P_{\text{пл}}^2 - P_{\text{заб}}^2)$ от Q или (ΔP^2) от Q , для которых построены сопоставления $\Delta P^2 = f(Q)$. По данной зависимости были определены величины дС. Перестроив ИЛ в координатах $(\Delta P^2 - дС)/Q$ от Q , определяем фильтрационные коэффициенты a и b как для каждого интервала в отдельности, так и для всего в целом.

Для количественного определения газонасыщенности были привлечены дополнительные данные по коэффициентам глинистости, пористости, определенным по комплексу ГИС в открытом стволе. В отличие от определения K_e в геофизической скважине № 318, в данном примере для определения кажущейся пористости использовалась зависимость $K_{\text{п}}^{\text{ННК}}$ от длины релаксации нейтронов L_p .

Рядом исследователей (А.С. Михайлин, Ю.П. Потапенко, 1997) предлагалось использовать для определения кажущейся пористости переходные коэффициенты от показаний прибора СРК_М к показаниям прибора СРК. Проведенный шпором анализ данных показал, что учёт влияния скважинных условий для таких преобразований оказывается неполным. Показано, что зависимость (21) является универсальной для приборов двухзондовой модификации ННКт. Определив её для нескольких приборов СРК, можно убедиться, что она идентична. Автором сделан вывод – зависимость будет справедлива для приборов с разными длинами зондов при одинаковых параметрах пластов.

Использование линейной зависимости $K_{\text{п}}^{\text{ННК}}$ от относительного параметра ИНК* возможно только для приборов типа СРК (длина зондов $z_1 = 0,26$ м, $z_2 = 0,51$ м), так как возможна его эталонировка на имитаторах пористости.

Установлено, что при значительных значениях длины зонда (более 70 см) зависимость $L_p = f(K_{\text{п}}^{\text{ННК}})$ достаточно универсальна: она не зависит от минерализации вод, положения прибора в скважине (следовательно, от наличия и положения обсадной колонны), а также от изменений диаметра скважины. Наибольшая точность замеров нейтронного каротажа обеспечивается при одновременной регистрации диаграмм обоих зондов, поскольку при этом полностью или частично исключаются влияние источника питания, температуры и, что особенно важно, изменений мощности источника нейтронов. Последний факт, по мнению автора, наиболее важен, так как все рассматриваемые измерения произ-

ведены с источником PI-Be ($T_{1/2} = 137$ дней), который не характеризуется стабильным выходом нейтронов. Рекомендуются автором источники $^{238}\text{Pu-Be}$ ($T_{1/2} = 86,4$ года) позволят снизить флуктуации как в методе ННК, так и в методе НГК.

Определенные автором значения газонасыщенности в обсаженных скважинах достаточно уверенно коррелируются со значениями K_e , определенными в открытом стволе ($K_e^{отмкст}$) по материалам ГИС в бурящихся вертикальных и горизонтальных скважинах. Наблюдаемое увеличение K_e по отношению к $K_e^{отмкст}$ обусловлено по мнению автора, расформированием зоны проникновения. В то же время нижняя часть рассматриваемого объекта характеризуется небольшой газонасыщенностью (табл. 4), очевидно связанной с тем, что в пластах осталась связанная вода.

Таким образом, автором впервые на примере Кущёвского ПХГ установлено, что в скважинах, находящихся в приконтурной зоне, изменение давления на панах закачки и отбора газа приводят к значительному изменению коэффициентов текущей газонасыщенности $K_e^{тек}$ из-за поступления воды из нижележащих участков пласта. Доказано, что существующими методами ГИС возможно и количественное определение коэффициентов текущей K_e газонасыщенности в сложных пластах-коллекторах Кущёвского ПХГ всех скважин.

На фактическом скважинном материале впервые показана эффективность разработанной методики оценки коэффициента газонасыщенности с учётом сложного литологического строения пластов, газодинамических параметров, особенностей настройки и метрологии применяемой аппаратуры нейтронного каротажа.

Литература:

1. Отчёт о результатах промыслово-геофизических работ за 2011 год по предприятию ПФ «Кубаньгазгеофизика». – пос. Афицкий, 2011.
2. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Промсвещение-Юг», 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
5. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин. – М. : Недра, 1984. – 432 с.
6. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
7. Коноплев Ю.В. Геофизические методы контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : КубГУ, 2006. – 210 с.
8. Писклов С.С. Разработка методики определения газоснабжения и продуктивности сложных коллекторов – объектов закачки и отбора газа в подземных газохранилищах (на примере Кущёвского ПХГ) : автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. – Краснодар, 2005. – 24 с.
9. Писклов С.С., Шнурман И.Г. Михайлин А.С. Технология изучения разрезов горизонтальных скважин по данным ГИС на Кущёвском ПХГ // Сборник научных трудов «Гипотезы, поиск, прогнозы». – Краснодар : СКО ИА РФ, 2002. – Вып. 14. – С. 134–142.
10. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах: учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
11. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Шальская С.В. Интерпретация результатов гидродинамических исследований : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. – 203 с.
12. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
13. Амурский А.Г., Боголюбов Е.П., Титов И.А., Шипунов М.В. Многозондовая аппаратура импульсного нейтрон-нейтронного каротажа АИНК-89 // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерное приборостроение. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова, 2001. – Выпуск 1 (19) Нейтронные генераторы и аппаратура на их основе. – С. 39–45.
14. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Шаманов С.А., Шипица В.Ф., Еремин Г.А. Опыт создания герметичного заколонного пространства скважин при строительстве Кущёвского ПХГ //

Сборник научных трудов «Гипотезы, поиск, прогнозы». – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2000. – С. 71–81.

15. Климов В.В., Савенок О.В., Кузьмин А.В. Новые технические средства, технологии и методология геолого-геофизического контроля технического состояния крепи газовых и газоконденсатных скважин, в том числе с аномально высокими пластовыми давлениями и температурами // Нефть. Газ. Новации, 2013. – № 3/2013. – С. 33–37.

16. Климов В.В., Лешкович Н.М. Повышение информативности метода термометрии при проведении геофизических исследований на нефтегазовых месторождениях и ПХГ // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 1: Прогноз, поиск и разведка месторождений нефти и газа. Нефтегазопромысловая геология. Разведочная и промысловая геофизика. – С. 81–87.

17. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Повышение достоверности геофизических методов в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах // Инженер-нефтяник. – 2017. – № 3. – С. 33–37.

18. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Концепция геолого-геофизического контроля технического состояния обсадных колонн и зацементированного за колонным пространством в скважинах на нефтегазовых месторождениях и подземных хранилищах газа // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. – 2019. – № 2. – С. 15–21.

19. Коникевич Е.И., Просёлков Ю.М. Границы колебаний температуры в скважинах Кущёвского ПХГ // Сборник научных трудов «Гипотезы, поиск, прогнозы». – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2003. – С. 292–296.

20. Котлярова Е.М., Алиев З.С. Газодинамические исследования скважин Кущёвского ПХГ // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017. – № 2 (287). – С. 86–96.

21. Панцарников Д.С., Арутюнян А.С., Петрушин Е.О., Савенок О.В. Техника и технология геофизических методов исследования горизонтальных скважин на Фёдоровском нефтегазовом месторождении // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 1/2016. – С. 42–45.

22. Шальская С.В. Геолого-геофизическая характеристика района Кущёвского ПХГ // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/32.PDF>

23. Шальская С.В. Техника и методика проведения ГИС-контроля на Кущёвском ПХГ // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/33.PDF>

References:

1. Report on the results of field geophysical works in 2011 at the enterprise of PF Kubangaz-geofizika. – Afipsky settlement, 2011.

2. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the construction of oil and gas wells: textbook for university students. – Krasnodar : Prosveshchenie-South LLC, 2011. – 603 p.

3. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on the discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 volumes : manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.

4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.

5. Dyakonov D.I., Leontief E.I., Kuznetsov G.S. General course of the geophysical well investigations. – M. : Nedra, 1984. – 432 p.

6. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of the geophysical researches at construction and operation of wells at the oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 p.

7. Konoplyov Yu.V. Geophysical methods of control over the oil and gas fields development: a manual. – Krasnodar : Kuban State University, 2006. – 210 p.

8. Pisklov S.S. Development of the methodology for determination of the gas supply and productivity of the complex reservoirs – the objects of gas injection and withdrawal in the underground gas storages (on the example of Kushchevskoye UGSF): autoref. ... Candidate of Geological and Mineralogical Sciences. – Krasnodar, 2005. – 24 p.

9. Pisklov S.S., Shnurman I.G., Mikhailin A.S. Technology of studying horizontal well sections according to GIS data at Kushchevskoye UGS // Collection of scientific papers «Hypotheses, search, forecasts». – Krasnodar : RMS of the Russian Federation IA, 2002. – Issue. 14. – P. 134–142.

10. Popov V.V., Tretyak A.Ya., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical researches and works in wells : manual. – Novocherkassk : Lik, 2017. – 326 p.

11. Savenok O.V., Harutyunyan A.S., Shalskaya S.V. Interpretation of the results of hydrodynamic studies: textbook. – Krasnodar : Published by FGBOU VO «KubGTU», 2017. – 203 p.
12. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremiichuk R.S. Oil and gas engineering in well development. – Мю : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
13. Amurskiy A.G., Bogolyubov E.P., Titov I.A., Shipunov M.V. Multiprobe equipment of the pulsed neutron-neutron-neutron logging AINC–89 // Voprosy nuclia i tekhniki. Series: Nuclear instrumentation. – M. : All-Russian Research Institute of Automatics named N.L. Dukhov, 2001. – Is. 1 (19) Neutron generators and equipment based on them. – P. 39–45.
14. Basarygin Y.M., Bulatov A.I., Shamanov S.A., Shipitsa V.F., Eremin G.A. Experience of creating a sealed behind-the-casing space of wells during the construction of the Kushchevskoye UGSF // Collection of scientific papers «Hypotheses, search, forecasts». – Krasnodar : LLC Prosveshchenie–South, 2000. – P. 71–81.
15. Klimov V.V., Savenok O.V., Kuzmin A.V. New technical means, technologies and methodology of the geological and geophysical control of the technical condition of the gas and gas condensate wells crepe, including those with abnormally high formation pressures and temperatures // Oil. Gas. Innovations. – 2013. – № 3/2013. – P. 33–37.
16. Klimov V.V., Leshkovich N.M. Increase of information efficiency of thermometry method during geophysical researches at oil–and–gas fields and UGS facilities // Bulatovskie readings: materials of the I International scientific–practical conference (March 31, 2017): in 5 v.: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok, prof. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 1: Forecast, prospecting and exploration of oil and gas fields. Oil and gas field geology. Exploration and field geophysics. – P. 81–87.
17. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Enhancement of the reliability of the geophysical methods in the directional and horizontal wells (in Russian) // Inzhe-ner-oil. – 2017. – № 3. – P. 33–37.
18. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Concept of geological and geophysical control of the technical condition of casing strings and cemented casing space in wells at oil and gas fields and underground gas storage facilities // Bulletin of the Association of Drilling Contractors. – 2019. – № 2. – P. 15–21.
19. Konikevich E.I., Proselkov Y.M. Temperature fluctuation boundaries in the Kushchevskoye UGS wells // Collection of scientific papers «Hypotheses, search, forecasts». – Krasnodar : Prosveshchenie-South LLC, 2003. – P. 292–296.
20. Kotlyarova E.M., Aliev Z.S. Gas-dynamic research of the Kuhchevskoye UGSF wells // Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas I.M. Gubkin, 2017. – № 2 (287). – P. 86–96.
21. Pantsarnikov D.S., Arutyunyan A.S., Petrushin E.O., Savenok O.V. Technique and technology of the geophysical methods of investigation of horizontal wells at the Fedorovskoye oil and gas field // Oil. Gas. Innovations. – 2016. – № 1/2016. – P. 42–45.
22. Shalskaya S.V. Geological and geophysical characteristics of the Kushchevskoye UGSF area // Herald of Student Science, Department of Information Systems and Programming. – 2019. – № 01 – URL: <http://vs.n.esrae.ru/pdf/2019/01/32.PDF>
23. Shalskaya S.V. Technique and methodology of GIS-control at Kushchevskoye UGS // Herald of student science of information systems and programming department. – 2019. – № 01 – URL: <http://vs.n.esrae.ru/pdf/2019/01/33.PDF>

УДК 632.15

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННОСТИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF OUR TIME AND WAYS TO SOLVE THEM

Поварова Лариса Валерьевна

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный
технологический университет
larispv08@gmail.com

Аннотация. Экологическая проблема – это изменение природной среды в результате антропогенных воздействий или стихийных бедствий, ведущее к нарушению структуры и функционирования природы. Экологические проблемы возникли как следствие нерационального отношения человека к природе, стремительного роста промышленных технологий, индустриализации и роста населения. Выработка природных ресурсов настолько велика, что встал вопрос об их использовании в будущем. Загрязнение природной среды привело к прогрессирующей гибели представителей растительно-животного мира, загрязнению почв, подземных источников, истощению и деградации почвенного покрова и т.д. От решения экологических проблем зависит прогресс и судьба цивилизации, поэтому решение экологических проблем современного мира является важной и актуальной проблемой.

Ключевые слова: экологические проблемы современности; загрязнение Мирового океана и дефицит пресной воды; дефицит природных ресурсов; уменьшение биологического разнообразия; пути решения экологических проблем; внедрение экологически эффективных и ресурсосберегающих технологий; рациональное использование природных ресурсов.

Povarova Larisa Valeryevna

Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor
of chemistry department,
Kuban state technological university
larispv08@gmail.com

Annotation. An environmental problem is a change in the natural environment as a result of anthropogenic impacts or natural disasters, leading to a disruption in the structure and functioning of nature. Environmental problems have arisen as a result of the irrational attitude of man to nature, the rapid growth of industrial technology, industrialization and population growth. The development of natural resources is so great that the question arose about their use in the future. Environmental pollution has led to a progressive death of representatives of the flora and fauna, pollution of soils, underground sources, depletion and degradation of soil cover, etc. The progress and fate of civilization depends on the solution of environmental problems; therefore, the solution of environmental problems of the modern world is an important and urgent problem.

Keywords: environmental issues of our time; oceans pollution and shortage of fresh water; lack of natural resources; reduction of biological diversity; ways to solve environmental problems; introduction of environmentally efficient and resource-saving technologies; rational use of natural resources.

Э ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

Демографическая проблема

Воздействие общества на окружающую среду прямо пропорционально численности человечества, уровню его жизни и ослабляется с повышением уровня экологического сознания населения. Все три фактора равнозначны. Дискуссии о том, сколько людей сможет или не сможет выжить на Земле, лишены смысла, если не принимать во внимание стиль жизни и уровень человеческого сознания. Проблемы народонаселения изучаются демографией – наукой о закономерностях воспроизводства населения в общественно-исторической обусловленности этого процесса. Демография – наука о народонаселении, изучающая изменение численности населения, рождаемость и смертность, миграцию, половозрастную структуру, национальный состав, географическое распределение и их зависимость от исторических, социально-экономических и других факторов.

При рассмотрении естественно-научных аспектов проблемы народонаселения особенно важно представить себе широту демографических проблем. Демография занимается изучением особенностей взаимодействия биологического и социального в воспроизводстве народонаселения, культурной и этической детерминации демографи-

ческих процессов, зависимости демографических характеристик от уровня экономического развития. Особое место занимает выявление влияния на демографические процессы развития здравоохранения, урбанизации и миграции.

Известно, что все биологические виды обладают высоким биотическим (от биоты – совокупность всех организмов биосистемы) потенциалом для стремительного увеличения численности при благоприятных условиях среды. В таком случае рост популяции имеет вид экспоненты, а само размножение характеризуется как популяционный взрыв. В естественных условиях такое наблюдается крайне редко, так как вероятность того, что все условия окажутся благоприятными, очень низка. Обычно один или несколько абиотических (неоптимальная температура, кислотность, солёность, влажность) и (или) биотических (присутствие хищников, паразитов, болезнетворных организмов, нехватка пищи) факторов становятся лимитирующими. Сочетание таких «ограничителей» называется сопротивлением среды. Для любого биологического вида можно сформулировать следующий принцип изменения популяций: изменение популяций есть результат нарушения равновесия между её биологическим потенциалом и сопротивлением окружающей её среды. Такое равновесие есть динамическое равновесие, т.е. непрерывно регулирующееся, поскольку факторы не остаются подолгу неизменными.

Указанные общебиологические закономерности могут быть применены при рассмотрении истории человечества лишь на период до XIX века. С древнейших исторических эпох до начала прошлого века численность мирового народонаселения колебалась около нескольких сотен миллионов человек, то медленно возрастая, то снижаясь. К началу неолита (нового каменного века) население Земли достигало 10 млн человек, к концу неолита (3000 лет до н.э.) – 50 млн., а к началу нашей эры – 230 млн человек. В 1600 году в мире насчитывалось около 480 млн., из них в Европе 96 млн., т.е. 1/5 часть всего населения Земли. В середине XIX века – 1 млрд, в 1930 году – 3 млрд человек.

Ныне на земном шаре проживает около 7 млрд человек, а к 2060 году будет 10 млрд человек. Такой рост населения, естественно, приведёт к ещё более сильному влиянию человечества на окружающую среду и, видимо, ещё больше обострит существующие на сегодня проблемы. Однако по ресурсной модели мировой системы население Земли не должно превышать 7–7,5 млрд человек.

Демографический взрыв был вызван снижением смертности детей, не достигших половой зрелости. Это явилось следствием разработки эффективности мер профилактики и лечения после открытия микробиологической природы инфекционных заболеваний. Имеет значение то, умер человек до появления у него детей (репродуктивная смерть) или после (пострепродуктивная смерть). Пострепродуктивная смертность не может быть фактором, ограничивающим рост населения, хотя, безусловно, имеет социальные и экономические последствия. Аналогичным образом несчастные случаи и стихийные бедствия, вопреки высказываемым иногда предположениям, не контролируют численность населения. Эти факторы не оказывают направленного воздействия на перерепродуктивную смертность и, несмотря на социально-экономическое значение связанных с ними потерь, относительно слабо отражаются на росте населения в целом. Например, в США ежегодные потери от автокатастроф (приблизительно 50 тыс.) возмещаются в течение 10 дней. Даже войны со времён Второй мировой войны недолго отражаются на численности населения. Во вьетнамской войне погибло приблизительно 45 тыс. американцев. Естественный прирост населения в США – 150 тыс. человек в месяц – компенсирует эти потери за три недели, если считать только мужчин. Даже регулярная гибель в мире 3 млн человек за год от голода и неполноценного питания несущественна с точки зрения демографии, если сравнить её с глобальным приростом населения, составляющим за этот период приблизительно 90 млн человек.

Около 1930 года, через 100 лет после достижения миллиардного уровня, численность населения превысила 2 млрд, 30 лет спустя (1960 г.) достигла 3 млрд и всего через 15 лет (1975 г.) – 4 млрд, затем ещё через 12 лет (1987 г.) народонаселение Земли перевалило 5 млрд, и такой рост продолжается, составляя приблизительно 90 млн – рождение минус смертность – человек в год.

Особенностью постановки экологической и демографической проблематики в современной науке является осознание её в терминах уникальности и индивидуально-

сти, невозпроизводимости как национальных, исторических культур, так и биосферы, многих ресурсов. Даже в прошлом не было такого глобального осознания, хотя счёт потерям был открыт много раньше. Навсегда исчезли некоторые экосистемы, и будущие поколения не увидят многих земных ландшафтов и пейзажей. Происходит катастрофическое сужение разнообразия, колоссальная стандартизация производства как момент опосредованного отношения человека со средой, процветает массовая культура, в которой человек теряется. В обществе, где не нашло признания право личности на индивидуальность, вряд ли стоит рассчитывать на широкое движение за сохранение уникального образа природы. Вообще, уникальность как проблема осознаётся только перед лицом гибели. И острота демографической и экологической проблемы заставляет по-новому взглянуть на отношения «природа – общество».

Энергетическая проблема

Потребление энергии является обязательным условием существования человечества. Наличие доступной для потребления энергии всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека. История цивилизации – история изобретения все новых и новых методов преобразования энергии, освоения её новых источников и в конечном итоге увеличения энергопотребления.

Первый скачок в росте энергопотребления произошёл, когда человек научился добывать огонь и использовать его для приготовления пищи и обогрева своих жилищ. Источниками энергии в этот период служили дрова и мускульная сила человека. Следующий важный этап связан с изобретением колеса, созданием разнообразных орудий труда, развитием кузнечного производства. К XV веку средневековый человек, используя рабочий скот, энергию воды и ветра, дрова и небольшое количество угля, уже потреблял приблизительно в 10 раз больше, чем первобытный человек. Особенно заметное увеличение мирового потребления энергии произошло за последние двести лет, прошедшие с начала индустриальной эпохи, – оно возросло в 30 раз и достигло в 1998 году 13,7 гигатонн условного топлива в год. Человек индустриального общества потребляет в 100 раз больше энергии, чем первобытный человек.

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетике опережали темпы развития других отраслей.

В то же время энергетика – источник неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на:

- атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твёрдых частиц);
- гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязнённых и нагретых вод, жидких отходов);
- на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ).

Несмотря на отмеченные факторы отрицательного воздействия энергетике на окружающую среду, рост потребления энергии не вызывал особой тревоги у широкой общественности. Так продолжалось до середины 70-х годов, когда в руках специалистов оказались многочисленные данные, свидетельствующие о сильном антропогенном давлении на климатическую систему, что таит угрозу глобальной катастрофы при неконтролируемом росте энергопотребления. С тех пор ни одна другая научная проблема не привлекает такого пристального внимания, как проблема настоящих, а в особенности предстоящих изменений климата. Считается, что энергетика является одной из главных причин этого изменения. Под энергетикой при этом понимается любая область человеческой деятельности, связанная с производством и потреблением энергии. Значительная часть энергетике обеспечивается потреблением энергии, освобождающейся при сжигании органического ископаемого топлива (нефти, угля и газа), что, в свою очередь, приводит к выбросу в атмосферу огромного количества загрязняющих веществ.

Экологическая проблема энергетике как источника множества неблагоприятных воздействий на планету требует скорейшего решения.

Проблема урбанизации

Одна из острейших проблем современности – процесс урбанизации. Для этого есть достаточно веские основания.

Урбанизация (от лат. urbanus – городской) – исторический процесс повышения роли городов в развитии общества, который охватывает изменения в размещении производительных сил, и, прежде всего, в расселении населения, его демографической и социально-профессиональной структуре, образе жизни и культуре.

Города существовали ещё в глубокой древности: Фивы на территории современного Египта были самым большим городом мира ещё в 1300 году до н.э., Вавилон – в 200 году до н.э.; Рим – в 100 году до н.э. Однако процесс урбанизации как общепланетарное явление датируется двадцатью веками позже: он стал порождением индустриализации и капитализма. Ещё в 1800 году в городах проживало лишь около 3 % населения мира, в то время как сегодня уже около половины.

Главное состоит в том, что урбанизация создает сложнейший узел противоречий, совокупность которых служит веским аргументом для рассмотрения её под углом зрения глобалистики. Можно выделить экономический, экологический, социальный и территориальный аспекты (последний выделен достаточно условно, так как он объединяет все предыдущие).

Современная урбанизация сопровождается ухудшением состояния городской окружающей среды, особенно в развивающихся странах. В них оно стало угрозой для здоровья населения, стало тормозом преодоления хозяйственной отсталости. В городах развивающихся стран переплетаются проявления и последствия ряда кризисов, оказывающих пагубное воздействие на все стороны их жизни. К числу этих кризисов относятся продолжающийся в развивающихся странах демографический взрыв, голод и недоедание значительной части их населения, вызывающее ухудшение качества человеческого потенциала. Особенно неблагоприятно состояние окружающей среды в городах в крупнейших центрах с населением свыше 250 тыс. жителей. Именно эти города растут особенно быстро, увеличивая своё население примерно на 10 % в год. Происходит разрушительное нарушение экологического равновесия в крупнейших и крупных центрах всех регионов и стран третьего мира.

Взаимосвязь урбанизации и состояния окружающей природной среды обусловлена рядом факторов в сложной системе социально-экономического развития и взаимодействия общества и природы. Понимание общих и конкретных особенностей состояния окружающей природной среды в городах развивающихся стран важно для выработки долгосрочной стратегии международного сотрудничества в области глобальных проблем населения и окружающей среды. Крупные и крупнейшие центры стали средоточием большинства глобальных проблем человечества. Именно они оказывают наиболее масштабное воздействие на состояние окружающей среды на обширных пространствах.

Среди факторов, определяющих состояние и качество окружающей природной среды в городах развивающихся стран, наиболее важные:

- неупорядоченная и неконтролируемая урбанизация в условиях хозяйственной слабо развитости;
- городской взрыв, выражающийся, прежде всего, в опережающих темпах роста крупнейших и крупных центров;
- отсутствие необходимых финансовых и технических средств;
- недостаточный уровень общей образованности основной массы населения;
- не разработанность политики городского развития;
- ограниченность экологического законодательства.

Неблагоприятно влияют и такие обстоятельства, как хаотичность городской застройки, огромная скученность населения как в центральных, так и в периферийных частях городов, ограниченность комплексного городского планирования и законодательного регулирования (что присуще большинству развивающихся стран). Весьма часты случаи непосредственного соседства застроенных и густозаселённых жилых районов и промышленных предприятий с устаревшей технологией и без очистных сооружений. Это ещё более ухудшает состояние окружающей среды в городах. Состояние

окружающей природной среды в городах развивающихся стран представляет вызов их устойчивому развитию.

Пространственный аспект урбанизации связан со всеми предыдущими. «Расползание» агломераций означает распространение городского образа жизни на все большие территории, а это, в свою очередь, ведёт к обострению экологических проблем, к растущим транспортным потокам («агломерация и окружение»), к оттеснению на дальнюю периферию сельскохозяйственных и реакционных зон.

Парниковый эффект

Термин «парниковый эффект» вошел в научный обиход в конце XIX века, а сегодня стал широко известен как опасное явление, угрожающее всей планете. Школьный факт: за счёт поглощения парниковыми газами (углекислым, озоном и другими) тепла, поступающего от прогретой поверхности Земли, повышается температура воздуха над Землёй. Чем больше в атмосфере этих газов, тем выше парниковый эффект.

Привести это может вот к чему. По некоторым прогнозам к 2100 году климат потеплеет на 2,5–5 °С, что вызовет повышение уровня Мирового океана вследствие таяния полярных шапок Земли, включая ледники Гренландии. Это явная угроза густонаселённым районам континентальных побережий. Могут быть и другие губительные для природы последствия: расширение площади пустынь, исчезновение вечной мерзлоты, увеличение эрозии почв и т.д.

В качестве причины усиления парникового эффекта почти всегда называют рост концентрации парниковых газов в атмосфере. Растёт же эта концентрация из-за сжигания огромных количеств органического топлива (нефть, природный газ, уголь, дрова, торф и пр.) промышленностью, транспортом, сельским и домашним хозяйством. Но это не единственная причина усиления парникового эффекта.

Дело в том, что система живых организмов (биота) успешно справляется с задачей регулирования концентрации парниковых газов. Например, если в силу каких-либо причин содержание двуокиси углерода CO_2 в атмосфере повышается, то активизируется газовый обмен у растений: они больше поглощают CO_2 , больше выделяют кислорода и этим способствуют возвращению концентрации CO_2 к равновесному значению; наоборот, при понижении концентрации этого газа он с меньшей интенсивностью усваивается растениями, что обеспечивает повышение его концентрации.

Иными словами, биота поддерживает концентрацию парниковых газов на определённом уровне, точнее, в очень узких пределах, как раз соответствующих такой величине парникового эффекта, которая обеспечивает оптимальный для биоты климат на Земле. Это касается только газов естественного происхождения и не относится, например, к хлорфторуглеродам, которые до середины XX века, когда они были открыты и стали производиться, в природе не встречались, и биота не умеет с ними справляться.

Человек не только весьма существенно увеличил поступление парниковых газов в атмосферу, но и систематически разрушал те естественные экосистемы, которые регулируют концентрацию этих газов, прежде всего – сводил леса. Сколько сведено естественных лесов за последнее тысячелетие, точно не известно, но похоже, что никак не менее 35–40 % того, что было. Кроме того, распаханы практически все степи, почти уничтожены естественные луга.

Глобальное потепление вследствие антропогенных причин – уже не научная гипотеза, не прогноз, а достоверно установленный факт. Подготовлена и «почва» для дальнейшего потепления: концентрация парниковых газов не только превышает величину, многие миллионы лет бывшую нормой, но продолжает увеличиваться, поскольку перестройка хозяйства современной цивилизации, более того, всей жизни человечества – дело далеко не быстрое.

Разрушение озонового слоя

Земная атмосфера состоит, главным образом, из азота (около 78 %) и кислорода (около 21 %). Вместе с водой и солнечным светом кислород принадлежит к числу важнейших жизненных факторов. Небольшая часть кислорода находится в атмосфере в виде озона – кислородных молекул, составленных тремя атомами кислорода.

Озон сосредоточен преимущественно в атмосфере на высоте 15–20 километров над земной поверхностью. Этот обогащенный озоном слой стратосферы иногда называют озоносферой. Несмотря на малое количество, роль озона в биосфере Земли чрезвычайно велика и ответственна. Озоносфера поглощает значительную часть жёсткого ультрафиолетового излучения Солнца, губительного для живых организмов. Она – щит жизни, но щит, отрегулированный природой. Более длинноволновую часть ультрафиолетовой радиации озоносфера пропускает. Эта проникающая часть ультрафиолета необходима для жизни: она уничтожает болезнетворные бактерии, способствует выработке в организме человека витамина D. Состояние озонового слоя чрезвычайно важно, ибо даже незначительное изменение интенсивности ультрафиолетовой радиации у земной поверхности может отразиться на живых организмах.

Основные причины истончения озонового слоя:

1. Во время запуска космических ракет в озоновом слое буквально «выжигаются» дыры. И вопреки старому мнению о том, что они сразу же затягиваются, эти дыры существуют довольно долгое время.

2. Самолёты, летающие на высотах в 12–16 км, также приносят вред озоновому слою, тогда как летающие ниже 12 км, напротив, способствуют образованию озона.

3. Выброс в атмосферу фреонов.

Самой главной причиной разрушения озонового слоя является хлор и его водородные соединения. Огромное количество хлора попадает в атмосферу, в первую очередь от разложения фреонов. Фреоны – это газы, не вступающие у поверхности планеты ни в какие химические реакции. Фреоны закипают и быстро увеличивают свой объём при комнатной температуре, и потому являются хорошими распылителями. Из-за этой особенности фреоны долгое время использовались в изготовлении аэрозолей. И так как, расширяясь, фреоны охлаждаются, они и сейчас очень широко используются в холодильной промышленности. Когда фреоны поднимаются в верхние слои атмосферы, от них под действием ультрафиолетового излучения отщепляется атом хлора, который начинает одну за другой превращать молекулы озона в кислород. Хлор может находиться в атмосфере до 120 лет, и за это время способен разрушить до 100 тысяч молекул озона.

В 80-ых годах мировое сообщество начало принимать меры по сокращению производства фреонов. В сентябре 1987 года 23 ведущими странами мира была подписана конвенция, согласно которой, страны к 1999 году должны были снизить потребление фреонов в два раза. Уже найден практически не уступающий заменитель фреонов в аэрозолях – пропан-бутановая смесь. Она почти не уступает фреонам по параметрам, единственным её минусом является то, что она огнеопасна. Такие аэрозоли уже достаточно широко используются. Для холодильных установок дела обстоят несколько хуже. Лучшим заменителем фреонов сейчас является аммиак, однако он очень токсичен и всё же значительно хуже их по параметрам. Сейчас достигнуты неплохие результаты по поиску новых заменителей, но пока проблема окончательно не решена.

Благодаря совместным усилиям мирового сообщества, за последние десятилетия производство фреонов сократилось более чем в два раза, но их использование все еще продолжается и по оценкам ученых, до стабилизации озонового слоя должно пройти ещё как минимум 50 лет.

Кислотные осадки

Впервые термин «кислотный дождь» был введен в 1882 году английским учёным Робертом Смитом в книге «Воздух и дождь: начало химической климатологии». Его внимание привлек викторианский смог в Манчестере. И хотя учёные того времени отвергли теорию о существовании кислотных дождей, сегодня уже никто не сомневается, что кислотные дожди являются одной из причин гибели лесов, урожаяев и растительности. Кроме того, кислотные дожди разрушают здания и памятники культуры, трубопроводы, приводят в негодность автомобили, понижают плодородие почвы и могут приводить к просачиванию токсичных металлов в водоносные слои почвы.

В процессе работы автомобильных двигателей, тепловых электростанций, и прочих заводов и фабрик в воздух в большом количестве выбрасываются оксиды азота и се-

ры. Эти газы вступают в различные химические реакции и в итоге образуются капли кислот, которые и выпадают кислотными дождями или переносятся в виде тумана.

Кислотные осадки могут выпадать не только в виде дождя, но и в виде града или снега. Такие осадки наносят в 5–6 раз больше вреда, так как в них более высокая концентрация кислот.

Выпадение кислотных осадков на современном этапе биосферы представляет собой достаточно насущную проблему и оказывает достаточно негативное воздействие на биосферу. Причём негативное влияние кислотных дождей наблюдается в экосистемах многих стран. Особенно негативное воздействие от выпадения кислотных дождей ощутила на себе Скандинавия.

В 70-х годах в реках и озёрах скандинавских стран стала исчезать рыба, снег в горах окрасился в серый цвет, листва с деревьев раньше времени устлала землёю. Очень скоро те же явления заметили в США, Канаде, Западной Европе. В Германии пострадало 30 %, а местами 50 % лесов. И всё это происходит вдали от городов и промышленных центров. Выяснилось, что причина всех этих бед – кислотные дожди.

Показатель pH меняется в разных водоемах, но в ненарушенной природной среде диапазон этих изменений строго ограничен. Природные воды и почвы обладают буферными возможностями, они способны нейтрализовать определённую часть кислоты и сохранить среду. Однако очевидно, что буферные способности природы не беспредельны.

Земля и растения, конечно, тоже страдают от кислотных дождей: снижается продуктивность почв, сокращается поступление питательных веществ, меняется состав почвенных микроорганизмов.

Огромный вред наносят кислотные дожди лесам. Леса высыхают, развивается суховершинность на больших площадях. Кислота увеличивает подвижность в почвах алюминия, который токсичен для мелких корней, и это приводит к угнетению листвы и хвои, хрупкости ветвей. Особенно страдают хвойные деревья, потому что хвоя сменяется реже, чем листва, и поэтому накапливает больше вредных веществ за один и тот же период.

Всё больший ущерб кислотные дожди наносят сельскохозяйственным культурам: повреждаются покровные ткани растений, изменяется обмен веществ в клетках, растения замедляют рост и развитие, уменьшается их сопротивляемость к болезням и паразитам, падает урожайность.

Кислотные дожди не только убивают живую природу, но и разрушают памятники архитектуры. Прочный, твердый мрамор, смесь окислов кальция (CaO и CO_2), реагирует с раствором серной кислоты и превращается в гипс (CaSO_4). Смена температур, потоки дождя и ветер разрушают этот мягкий материал. Исторические памятники Греции и Рима, простояв тысячелетия, в последние годы разрушаются прямо на глазах. Такая же судьба грозит и Тадж-Махалу – шедевру индийской архитектуры периода Великих Моголов, в Лондоне – Тауэру и Вестминстерскому аббатству. На соборе Святого Павла в Риме слой портлендского известняка разъеден на 2,5 см. В Голландии статуи на соборе Святого Иоанна тают, как леденцы. Чёрными отложениями изъеден королевский дворец на площади Дам в Амстердаме. Более 100 тыс. ценнейших витражей, украшающих соборы в Шатре, Контербери, Кёльне, Эрфурте, Праге, Берне и в других городах Европы могут быть полностью утрачены в ближайшие 15–20 лет.

Страдают от кислотных дождей и люди, вынужденные потреблять питьевую воду, загрязнённую токсическими металлами – ртутью, свинцом, кадмием.

Спасать природу от закисления необходимо. Для этого придётся резко снизить выбросы в атмосферу окислов серы и азота, но в первую очередь сернистого газа, так как именно серная кислота и её соли на 70–80 % обуславливают кислотность дождей, выпадающих на больших расстояниях от места промышленного выброса.

Обезлесение

Обезлесение – процесс превращения земель, занятых лесом, в земельные угодья без древесного покрова, такие как пастбища, города, пустоши и другие. Наиболее частая причина обезлесения – вырубка леса без достаточной высадки новых деревьев. Кроме того, леса могут быть уничтожены вследствие естественных причин, таких как пожар, ураган или затопление, а также антропогенных факторов, например, кислотных дождей.

Процесс уничтожения леса является актуальной проблемой во многих частях земного шара, поскольку влияет на их экологические, климатические и социально-экономические характеристики и снижает качество жизни. Обезлесение приводит к снижению биоразнообразия, запасов древесины, в том числе для промышленного использования, а также к усилению парникового эффекта из-за снижения объёмов фотосинтеза.

Рубить лес человек начал с появлением земледелия – в позднем каменном веке. Несколько тысячелетий вырубки носили локальный характер. Но в позднем средневековье вслед за ростом населения и увлечением кораблестроением исчезли почти все леса Западной Европы. Такая же участь постигла уголья Китая и Индии. В конце XIX и в XX веке скорость исчезновения лесов резко увеличилась. Особенно это касается тропических лесов, которые до последнего времени оставались нетронутыми. С 1947 года уничтожено больше половины из 16 млн км² тропических лесов. Уничтожено до 90 % прибрежных лесов Западной Африки, 90–95 % атлантических лесов Бразилии, Мадагаскар лишился 90 % лесов. В этом списке – почти все тропические страны. Практически всё, что осталось от современного тропического леса – 4 млн км² Амазонии. И они быстро гибнут. Анализ недавних спутниковых снимков показывают, что леса Амазонии исчезают в два раза быстрее, чем ранее считалось.

Леса составляют около 85 % фитомассы мира. Они играют важнейшую роль в формировании глобального цикла воды, а также биогеохимических циклов углерода и кислорода. Леса мира регулируют климатические процессы и водный режим мира. Экваториальные леса являются важнейшим резервуаром биологического разнообразия, сохраняя 50 % видов животных и растений мира на 6 % площади суши.

Вклад лесов в мировые ресурсы не только значителен количественно, но и уникален, поскольку леса – это источник древесины, бумаги, лекарств, красок, каучука, плодов и пр. Леса с сомкнутыми кронами деревьев занимают в мире 28 млн км² при примерно одинаковой их площади в умеренном и тропическом поясе. Общая площадь сплошных и разреженных лесов, согласно Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), в 1995 году покрывала 26,6 % свободной ото льда суши, или примерно 35 млн км².

В результате своей деятельности человек уничтожил не менее 10 млн км² лесов, содержащих 36 % фитомассы суши. Главная причина уничтожения лесов – увеличение площади пашни и пастбищ, вследствие роста численности населения.

Обезлесение приводит к прямому уменьшению органического вещества, потере каналов поглощения углекислого газа растительностью и проявлению широкого спектра изменений круговоротов энергии, воды и питательных веществ. Уничтожение лесной растительности воздействует на глобальные биогеохимические циклы основных биогенных элементов и, следовательно, оказывает влияние на химический состав атмосферы.

Около 25 % углекислого газа, поступающего в атмосферу, обусловлено обезлесением. Сведение лесов приводит к заметным изменениям климатических условий на локальном, региональном и глобальном уровнях. Эти климатические изменения происходят в результате воздействия на компоненты радиационного и водного балансов.

Особенно велико воздействие сведения лесов на параметры седиментационного цикла (увеличение поверхностного стока, размыв, транспортировка, аккумуляция осадочного материала) при образовании обнаженной, не защищённой растительностью, поверхности; в такой ситуации смыв почвы на наиболее сильно эродированных землях, которые составляют 1 % общей площади распаханых сельскохозяйственных угодий, достигает от 100 до 200 тыс. га в год. Хотя, если сведение леса сопровождается его немедленным замещением другой растительностью, величина эрозии почв значительно снижается.

Воздействие обезлесения на круговороты питательных веществ зависит от типа почв, способа сведения леса, использования огня и типа последующего землепользования. Возрастающее беспокойство вызывает влияние обезлесения на уменьшение биологического разнообразия Земли.

В ряде стран имеются государственные программы хозяйственного освоения лесных территорий. Но при управлении лесами часто не принимается во внимание, что выгоды от использования лесов в их устойчивом состоянии могут приносить больше дохода, чем выгоды, связанные с расчисткой лесов и использованием древесины. Кроме того,

следует помнить, что экосистемная функция лесов незаменима, и они играют важнейшую роль в стабилизации состояния географической среды. Стратегия управления лесами должна основываться на признании леса как общего достояния человечества. Необходимо разработать и принять международную конвенцию по лесам, которая определила бы основные принципы и механизмы международного сотрудничества в этой области с целью поддержания устойчивого состояния лесов и его улучшения.

Деградация земель и их опустынивание

Опустынивание – это деградация земель в аридных, полуаридных (семиаридных) и засушливых (субгумидных) областях земного шара, вызванная как деятельностью человека (антропогенными причинами), так и природными факторами и процессами. Термин «климатическое опустынивание» был предложен в 1940-х годах французским исследователем Обервилем. Понятие «земля» в данном случае означает биопродуктивную систему, состоящую из почвы, воды, растительности, прочей биомассы, а также экологические и гидрологические процессы внутри системы.

Деградация земель – снижение или потеря биологической и экономической продуктивности пахотных земель или пастбищ в результате землепользования. Характеризуется иссушением земли, увяданием растительности, снижением связанности почвы, в результате чего становится возможной быстрая ветровая эрозия и образование пылевых бурь. Опустынивание относится к труднокомпенсируемым последствиям климатических изменений, так как на восстановление одного условного сантиметра плодородного почвенного покрова уходит в аридной зоне в среднем от 70 до 150 лет.

Деградацию земель вызывают многочисленные факторы, включая экстремальные погодные явления, особенно засухи, и деятельность человека, приводящая к загрязнению или деградации качества почв и пригодности земли, что негативно сказывается на производстве пищевых продуктов, средствах к существованию, производстве и предоставлении других продуктов и услуг экосистем.

Деградация земель в 20-м веке ускорилась из-за возрастающего общего давления со стороны производства сельскохозяйственных культур и домашнего скота (чрезмерного возделывания, чрезмерного выпаса, конверсии лесов), урбанизации, вырубки лесов и экстремальных погодных явлений, таких как засухи и засоление прибрежных земель, заливаемых волнами. Опустынивание является формой деградации земель, в процессе которой плодородные земли превращаются в пустыни.

Эти социальные и экологические процессы истощают обрабатываемые земли и пастбища, необходимые для производства пищевых продуктов, воды и качественного воздуха. Деградация земель и опустынивание воздействуют на здоровье человека. По мере деградации земель и расширения пустынь в некоторых районах уменьшается производство пищевых продуктов, высыхают источники воды и люди вынуждены перебираться в более благоприятные районы. Это одна из самых значимых глобальных проблем человечества.

Одной из главных причин разрушения плодородного слоя является почвенная эрозия. Происходит она главным образом из-за так называемого «агропромышленного» земледелия: почвы распахиваются на больших площадях, а затем плодородный слой выдувается ветром или смывается водой. Вследствие этого к настоящему времени произошла частичная потеря плодородия почвы на площади 152 млн га, или 2/3 общей площади пахотной земли. Установлено, что 20-сантиметровый слой почвы на пологих склонах разрушается эрозией под культурой хлопка за 21 год, под культурой кукурузы – за 50 лет, под луговыми травами – за 25 тыс. лет, под пологом леса – за 170 тыс. лет.

Почвенная эрозия сегодня приобрела всеобщий характер. В США, например, около 44 % обрабатываемых земель подвержено эрозии. В России исчезли уникальные богатые чернозёмы с содержанием гумуса 14–16 %, которые называли «цитаделью русского земледелия», а площади самых плодородных земель с содержанием гумуса 10–13 % сократились почти в 5 раз.

Засушливые регионы занимают 41 % земной суши. На этой территории проживает более 2 млрд человек (информация 2000 года). 90 % населения – жители развивающихся стран, отличающихся низкими показателями развития. Детская смертность в

странах, занимающих засушливые территории, выше, а валовой национальный продукт (ВНП) на душу населения ниже, чем в остальном мире. Из-за затруднённого доступа к воде, рынку сельскохозяйственной продукции, малого числа природных ресурсов в засушливых регионах распространена нищета.

Почвенная эрозия особенно велика в самых больших и густонаселённых странах. Река Хуанхэ в Китае ежегодно сносит в Мировой океан около 2 млрд тонн почвы. Почвенная эрозия не только уменьшает плодородие и снижает урожайность. В результате эрозии гораздо быстрее, чем обычно предусматривается в проектах, заиливаются искусственно сооружаемые водные резервуары, снижается возможность орошения и получения электроэнергии от гидроэлектростанций.

Последствия опустынивания в экологическом и экономическом отношении очень существенные и почти всегда отрицательные. Уменьшается производительность сельского хозяйства, сокращаются разнообразие видов и количество животных, что особенно в бедных странах приводит к ещё большей зависимости от природных ресурсов.

Опустынивание ограничивает доступность элементарных услуг экосистемы и угрожает безопасности людей. Оно является важной помехой развитию, из-за чего Организация Объединённых Наций в 1995 году установила Всемирный день борьбы с опустыниванием и засухой, затем провозгласила 2006 год международным годом пустынь и опустынивания, а в дальнейшем обозначила период с января 2010 года по декабрь 2020 года Десятилетием ООН, посвящённым пустыням и борьбе с опустыниванием.

Загрязнение Мирового океана и дефицит пресной воды

Загрязнение вод – попадание различных загрязнителей в воды рек, озёр, подземных вод, морей, океанов. Происходит при прямом или непрямом попадании загрязнителей в воду в отсутствие адекватных мер по очистке и удалению вредных веществ.

В большинстве случаев загрязнение вод остаётся невидимым, поскольку загрязнители растворены в воде. Но есть и исключения: пенящиеся моющие средства, а также плавающие на поверхности нефтепродукты и неочищенные стоки. Есть несколько природных загрязнителей. Находящиеся в земле соединения алюминия попадают в систему пресных водоёмов в результате химических реакций. Паводки вымывают из почвы лугов соединения магния, которые наносят огромный ущерб рыбным запасам.

Однако объём естественных загрязняющих веществ ничтожен по сравнению с производимыми человеком. Ежегодно в водные бассейны попадают тысячи химических веществ с непредсказуемым действием, многие из которых представляют собой новые химические соединения. В воде могут быть обнаружены повышенные концентрации токсичных тяжёлых металлов (как кадмия, ртути, свинца, хрома), пестициды, нитраты и фосфаты, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества (ПАВы), лекарственные препараты. Как известно, ежегодно в моря и океаны попадает до 12 млн тонн нефти.

Определённый вклад в повышение концентрации тяжёлых металлов в воде вносят и кислотные дожди. Они способны растворять в грунте минералы, что приводит к увеличению содержания в воде ионов тяжёлых металлов. С атомных электростанций в круговорот воды в природе попадают радиоактивные отходы.

Сброс неочищенных сточных вод в водные источники приводит к микробиологическим загрязнениям воды. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 80 % заболеваний в мире вызваны неподобающим качеством и антисанитарным состоянием воды. В сельской местности проблема качества воды стоит особенно остро – около 90 % всех сельских жителей в мире постоянно пользуются для питья и купания загрязнённой водой.

Сушу и океан связывают реки, впадающие в моря и несущие различные загрязнители. Не распадающиеся при контакте с почвой химические вещества, такие как нефтепродукты, нефть, удобрения (особенно нитраты и фосфаты), инсектициды и гербициды в результате выщелачивания попадают в реки, а затем в океан. В итоге океан превращается в место сброса этого «коктейля» из питательных веществ и ядов.

Нефть и нефтепродукты – основные загрязнители океанов, но наносимый ими вред значительно усугубляют сточные воды, бытовой мусор и загрязнение воздуха. Выносимые на пляжи пластмассовые предметы и нефть остаются вдоль отметки уров-

ня прилива, свидетельствуя о загрязнении морей и о том, что многие отходы не разлагаются микроорганизмами.

Запасы пресной воды находятся под угрозой из-за увеличения потребности в ней. Население растёт и нуждается в ней всё больше, а из-за изменений климата, скорее всего, её будет всё меньше.

В настоящее время каждый шестой на планете (т.е. более миллиарда человек) испытывает недостаток питьевой пресной воды. По исследованиям ООН, к 2025 году более половины государств планеты либо ощутят серьёзную нехватку воды (когда требуется большее количество воды, чем есть), либо почувствуют её дефицит. А к середине века уже трем четвертям населения Земли не будет хватать пресной воды. Учёные ожидают, что её дефицит станет повсеместным в основном из-за увеличения количества населения Земли. Ситуацию усугубляет то, что люди становятся богаче (что увеличивает спрос на воду) и глобальное изменение климата, которое ведёт к опустыниванию и снижению водообеспеченности.

Природные геосистемы океана испытывают постоянно возрастающее антропогенное давление. Для их оптимального функционирования, динамики и прогрессивного развития необходимы специальные мероприятия по охране морской среды. Они должны включать ограничение и полное запрещение загрязнения Мирового океана; регулирование использования его природных ресурсов, создание охраняемых акваторий, геоэкологический мониторинг и т.д. Также необходимо сформулировать и реализовать конкретные планы по реализации политических, экономических и технологических мер для обеспечения населения водой в настоящем и будущем.

Дефицит природных ресурсов

Дефицит природных ресурсов – проблема, которая волновала людей ещё в античные времена, резко обострилась в XX веке, в связи с мощным ростом потребления практически всех природных богатств – полезных ископаемых, земли для сельского хозяйства, леса, воды, воздуха.

Прежде всего, именно эта проблема заставила поднять вопрос устойчивого развития – ведения хозяйства без разрушения основы жизнеобеспечения для следующих поколений.

На данный момент человечеству не удаётся это сделать, хотя бы потому, что мировая экономика выстроена, главным образом, на использовании невозобновляемых ресурсов – минерального сырья.

Достаточно сказать, что при данных объёмах потребления (при том, что они растут) разведанных запасов углеводородного топлива человечеству хватит на несколько десятилетий, т.е. ещё на 1–2 поколения землян. При этом под угрозой истощения оказываются и возобновляемые природные богатства. Прежде всего, это биоресурсы. Наиболее очевидные примеры – обезлесение и опустынивание.

Глобальный спрос на энергию увеличивается стремительно (около 3 % в год). При сохранении такого темпа к середине XXI века мировой энергобаланс может возрасти в 2,5 раза, к концу века – в 4 раза. Увеличение потребностей в энергии обусловлено ростом мирового населения и улучшением качества жизни, развитием мировой промышленности, индустриализацией развивающихся стран. Многократное увеличение объёма мирового энергобаланса неизбежно ведёт к значительному истощению природных ресурсов. Для уменьшения этих негативных последствий огромное значение имеет энергосбережение, которое позволяет производить продукцию и полезную работу с гораздо меньшим потреблением энергии, чем в прошлом веке. В XX веке эффективно использовалось около 20 % первичной энергии, в то время как новейшие технологии позволяют повысить коэффициент действия энергетических установок в 1,5–2,0 раза. По экспертным оценкам, реализация программ энергосбережения позволит сократить потребление энергии на 30–40 %, что будет способствовать безопасно и устойчивому развитию мировой энергетики.

На территории России сосредоточено 45 % мировых запасов природного газа, 13 % – нефти, 23 % – угля, 14 % – урана. Однако фактическое их использование обусловлено существенными трудностями и опасностями, не обеспечивает потребности

многих регионов в энергии, связано с безвозвратными потерями топливно-энергетических ресурсов (до 50 %), угрожает экологической катастрофой в местах добычи и производства топливно-энергетических ресурсов.

Сейчас мы потребляем нефть, газ и уголь со скоростью, примерно в миллион раз превышающей скорость их естественного образования в земной коре. Очевидно, что рано или поздно они будут исчерпаны и перед человечеством встанет вопрос: чем их заменить? Если сопоставить остающиеся в распоряжении человечества ископаемые энергоресурсы и возможные сценарии развития мировой экономики, демографии и технологии, то это время в зависимости от принятого сценария составляет от нескольких десятков до пары сотен лет. В этом суть стоящей перед человечеством энергетической проблемы. Кроме того, всё более активная добыча и использование исчерпаемого сырья наносит вред окружающей среде, в частности, ведёт к изменению земного климата. Чрезмерные выбросы парниковых газов меняют климат Земли, ведут к природным катастрофам.

Анализ потенциала природных ресурсов Земли свидетельствует о том, что человечество обеспечено энергией на длительную перспективу. Нефть и газ обладают достаточно мощным ресурсом, однако этот «золотой фонд» планеты необходимо не только рационально использовать в XXI веке, но и сохранить для будущих поколений.

Радиоактивные отходы

Радиоактивные отходы – это жидкие, твёрдые и газообразные отходы, содержащие радиоактивные изотопы (РИ) в концентрациях, превышающих нормы, утверждённые в масштабе данной страны.

Любой сектор, который использует радиоактивные изотопы или обрабатывает естественно встречающиеся радиоактивные материалы (ЕРМ), может производить радиоактивные материалы, которые перестают быть полезными и поэтому должны обрабатываться как радиоактивные отходы. Ядерная промышленность, медицинский сектор, ряд других секторов промышленности, а также различные секторы, занятые исследовательской деятельностью – все генерируют радиоактивные отходы в результате своей деятельности.

Некоторые химические элементы радиоактивны: процесс их самопроизвольного распада с превращением в элементы с другими порядковыми номерами сопровождается излучением. При распаде радиоактивного вещества его масса с течением времени уменьшается. Теоретически вся масса радиоактивного элемента исчезает за бесконечно большое время. Периодом полураспада называется время, по истечении которого масса уменьшается вдвое. Варьируя в широких пределах, период полураспада составляет для разных радиоактивных веществ от нескольких часов до миллиардов лет.

Борьба с радиоактивным загрязнением среды может носить лишь предупредительный характер, поскольку не существует способов биологического разложения и других механизмов, позволяющих нейтрализовать этот вид заражения природной среды. Наибольшую опасность представляют радиоактивные вещества с периодом полураспада от нескольких недель до нескольких лет: этого времени достаточно для проникновения таких веществ в организм растений и животных. Распространяясь по пищевой цепи (от растений к животным), радиоактивные вещества поступают в организм вместе с продуктами питания и могут накапливаться в количестве, способном нанести вред здоровью человека. Излучение радиоактивных веществ оказывает губительное воздействие на организм вследствие ослабления иммунитета, снижения сопротивляемости инфекциям. Результатом является уменьшение продолжительности жизни, сокращение показателей естественного прироста населения вследствие временной или полной стерилизации. Отмечено поражение генов, при этом последствия проявляются лишь в последующих – втором или третьем – поколениях.

Наибольшее загрязнение вследствие радиоактивного распада вызвали взрывы атомных и водородных бомб, испытание которых особенно широко проводилось в 1954–1962 гг.

Второй источник радиоактивных примесей – атомная промышленность. Примеси поступают в окружающую среду при добыче и обогащении ископаемого сырья, использовании его в реакторах, переработке ядерного горючего в установках.

Наиболее серьёзное загрязнение среды связано с работой заводов по обогащению и переработке атомного сырья. Для дезактивации радиоактивных отходов до их полной безопасности необходимо время, равное примерно 20 периодам полураспада (это около 640 лет для ^{137}Cs и 490 тыс. лет для ^{239}Pu). Вряд ли можно поручиться за герметичность контейнеров, в которых отходы хранятся в течение столь длительного времени.

Таким образом, хранение отходов атомной энергетики – это наиболее острая проблема охраны окружающей среды от радиоактивного заражения. Теоретически, правда, возможно создание атомных электростанций с практически нулевым выбросом радиоактивных примесей. Но в этом случае производство энергии на атомной станции оказывается существенно более дорогим, чем на тепловой электростанции.

Уменьшение биологического разнообразия

Биологическое разнообразие (БР) – это совокупность всех форм жизни, населяющей нашу планету. Это то, что делает Землю не похожей на другие планеты Солнечной системы. БР – это богатство и многообразие жизни и её процессов, включающее разнообразие живых организмов и их генетических различий, а также разнообразие мест их существования.

БР делится на три иерархические категории: разнообразие среди представителей тех же самых видов (генетическое разнообразие), между различными видами и между экосистемами. Исследования глобальных проблем БР на уровне генов – дело будущего.

Наиболее авторитетная оценка видового разнообразия выполнена в ЮНЕП в 1995 году. Согласно этой оценке, наиболее вероятное количество видов – 13–14 млн., из которых описаны лишь 1,75 млн., или менее 13 %. Наивысший иерархический уровень биологического разнообразия – экосистемный, или ландшафтный. На этом уровне закономерности биологического разнообразия определяются, в первую очередь, зональными ландшафтными условиями, затем местными особенностями природных условий (рельефа, почв, климата), а также историей развития этих территорий. Наибольшим видовым разнообразием отличаются (в убывающем порядке): влажные экваториальные леса, коралловые рифы, сухие тропические леса, влажные леса умеренного пояса, океанические острова, ландшафты средиземноморского климата, безлесные (саванновые, степные) ландшафты.

В последние два десятилетия биологическое разнообразие стало привлекать внимание не только специалистов-биологов, но и экономистов, политиков, а также общественность в связи с очевидной угрозой антропогенной деградации биоразнообразия, намного превышающей нормальную, естественную деградацию.

Согласно «Глобальной оценке биологического разнообразия» ЮНЕП (1995), перед угрозой уничтожения стоят более чем 30000 видов животных и растений. За последние 400 лет исчезли 484 вида животных и 654 вида растений.

Причины современного ускоренного снижения биологического разнообразия:

- 1) быстрый рост населения и экономического развития, вносящие огромные изменения в условия жизни всех организмов и экологических систем Земли;
- 2) увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма;
- 3) усиливающееся загрязнение природных вод, почвы и воздуха;
- 4) недостаточное внимание к долговременным последствиям действий, разрушающих условия существования живых организмов, эксплуатирующих природные ресурсы и интродуцирующих неместные виды;
- 5) невозможность в условиях рыночной экономики оценить истинную стоимость биологического разнообразия и его потерь.

За последние 400 лет основными непосредственными причинами исчезновения видов животных были:

- 1) интродукция новых видов, сопровождавшаяся вытеснением или истреблением местных видов (39 % всех потерянных видов животных);
- 2) разрушение условий существования, прямое изъятие территорий, заселённых животными, и их деградация, фрагментация, усиление краевого эффекта (36 % от всех потерянных видов);
- 3) неконтролируемая охота (23 %);
- 4) прочие причины (2 %) [11].

Разнообразие – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия подрывает дальнейшее совершенствование форм жизни на Земле. Экономическая целесообразность сохранения биоразнообразия обусловлена использованием дикой биоты для удовлетворения различных потребностей общества в сфере промышленности, сельского хозяйства, рекреации, науки и образования: для селекции домашних растений и животных, генетического резервуара, необходимого для обновления и поддержания устойчивости сортов, изготовления лекарств, а также для обеспечения населения продовольствием, топливом, энергией, древесиной и т.д.

Человечество пытается остановить или замедлить рост уменьшения биоразнообразия Земли различными способами. Но, к сожалению, пока можно констатировать, что, несмотря на многочисленные меры, ускоренная эрозия биологического разнообразия мира продолжается. Однако без этих мер защиты степень потери биоразнообразия была бы ещё выше.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Большинство учёных, исследовавших экологические проблемы, считают, что у человечества есть ещё около 40 лет для возврата природной среды в состояние нормально функционирующей биосферы и решения вопросов собственного выживания. Но этот период ничтожно короток. И имеются ли у человека ресурсы для решения хотя бы острейших проблем?

К главным достижениям цивилизации в XX веке относят успехи науки и техники. Достижения науки, в том числе науки права окружающей среды, можно рассматривать и как главный ресурс в решении экологических проблем. Мысль учёных направлена на преодоление экологического кризиса. Человечество, государства должны максимально использовать имеющиеся научные достижения для собственного спасения.

Авторы научного труда «Пределы роста: 30 лет спустя» Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. считают, что выбор человечества состоит в том, чтобы снизить нагрузку на природу, вызванную деятельностью человека, до устойчивого уровня через разумную политику, разумную технологию и разумную организацию, либо ждать, когда в результате происходящих в природе изменений уменьшится количество пищи, энергии, сырья и возникнет совершенно непригодная для жизни окружающая среда.

С учётом дефицита времени человечество должно определить, какие цели стоят перед ним, какие задачи необходимо решить, какими должны быть результаты его усилий. В соответствии с определёнными целями, задачами и ожидаемыми, запланированными результатами человечество вырабатывает средства их достижения. С учётом комплексности проблем окружающей среды эти средства имеют специфику в технической, экономической, образовательной, правовой и иных сферах.

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Понятие безотходной технологии в соответствии с Декларацией Европейской экономической комиссии ООН (1979) означает практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и защитить окружающую среду.

В 1984 году эта же комиссия ООН приняла более конкретное определение данного понятия: «Безотходная технология представляет собой такой способ производства продукции, при котором всё сырьё и энергия используются наиболее рационально и комплексно в цикле: сырьевые ресурсы → производство → потребление → вторичные ресурсы, и любые воздействия на окружающую среду не нарушают её нормально-го функционирования».

Эта формулировка не должна восприниматься абсолютно, т.е. не надо думать, что производство возможно без отходов. Представить себе абсолютно безотходное производство просто невозможно, такого и в природе нет, оно противоречит второму началу термодинамики (вторым началом термодинамики считается полученное опыт-

ным путём утверждение о невозможности построения периодически действующего устройства, которое совершает работу за счёт охлаждения одного источника теплоты, т.е. вечного двигателя второго рода). Однако отходы не должны нарушать нормальное функционирование природных систем. Другими словами, мы должны выработать критерии ненарушенного состояния природы. Создание безотходных производств относится к весьма сложному и длительному процессу, промежуточным этапом которого является малоотходное производство. Под малоотходным производством следует понимать такое производство, результаты которого при воздействии их на окружающую среду не превышают уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами, т.е. ПДК. При этом по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов может переходить в отходы и направляться на длительное хранение или захоронение. На современном этапе развития научно-технического прогресса она является наиболее реальной.

Принципами для становления малоотходного или безотходного производства должны являться:

1. Принцип системности – самый основной. В соответствии с ним каждый отдельный процесс или производство рассматривается как элемент динамической системы всего промышленного производства в регионе (ТПК) и на более высоком уровне как элемент эколого-экономической системы в целом, включающей кроме материального производства и другой хозяйственно-экономической деятельности человека, природную среду (популяции живых организмов, атмосферу, гидросферу, литосферу, биогеоценозы, ландшафты), а также человека и среду его обитания.

2. Комплексность использования ресурсов. Этот принцип требует максимального использования всех компонентов сырья и потенциала энергоресурсов. Как известно, практически всё сырьё является комплексным, и в среднем более трети его количества составляют сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексной его переработке. Так, уже в настоящее время почти всё серебро, висмут, платина и платиноиды, а также более 20 % золота получают попутно при переработке комплексных руд.

3. Цикличность материальных потоков. К простейшим примерам циклических материальных потоков можно отнести замкнутые водо- и газооборотные циклы. В конечном итоге последовательное применение этого принципа должно привести к формированию сначала в отдельных регионах, а впоследствии и во всей техносфере сознательно организованного и регулируемого техногенного круговорота вещества и связанных с ним превращений энергии.

4. Требование ограничения воздействия производства на окружающую природную и социальную среду с учётом планомерного и целенаправленного роста его объёмов и экологического совершенства. Этот принцип в первую очередь связан с сохранением таких природных и социальных ресурсов, как атмосферный воздух, вода, поверхность земли, рекреационные ресурсы, здоровье населения.

5. Рациональность организации малоотходных и безотходных технологий. Определяющими здесь являются требование разумного использования всех компонентов сырья, максимального уменьшения энерго-, материало- и трудоёмкости производства и поиск новых экологически обоснованных сырьевых и энергетических технологий, с чем во многом связано снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и нанесение ей ущерба, включая смежные отрасли народного хозяйства.

Во всей совокупности работ, связанных с охраной окружающей среды и рациональным освоением природных ресурсов, необходимо выделить главные направления создания мало- и безотходных производств. К ним относятся: комплексное использование сырьевых и энергетических ресурсов; усовершенствование существующих и разработки принципиально новых технологических процессов и производств и соответствующего оборудования; внедрение водо- и газооборотных циклов (на базе эффективных газо- и водоочистных методов); кооперация производства с использованием отходов одних производств в качестве сырья для других и создания безотходных ТПК.

На пути совершенствования существующих и разработки принципиально новых технологических процессов необходимо соблюдение ряда общих требований: осу-

ществление производственных процессов при минимально возможном числе технологических стадий (аппаратов), поскольку на каждой из них образуются отходы и теряется сырьё; применение непрерывных процессов, позволяющих наиболее эффективно использовать сырьё и энергию; увеличение (до оптимума) единичной мощности агрегатов; интенсификация производственных процессов, их оптимизация и автоматизация; создание энерготехнологических процессов. Сочетание энергетики с технологией позволяет полнее использовать энергию химических превращений, экономить энергоресурсы, сырьё и материалы и увеличивать производительность агрегатов. Примером такого производства служит крупнотоннажное производство аммиака по энерготехнологической схеме.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Как невозобновляемые, так и возобновляемые ресурсы планеты не бесконечны, и чем интенсивнее их используют, тем меньше этих ресурсов остается следующим поколениям. Поэтому повсеместно требуется принятие решительных мер по рациональному использованию природных богатств. Эпоха безоглядной эксплуатации природы человеком кончилась, биосфера остро нуждается в охране, а природные ресурсы следует беречь и расходовать экономно.

Основные принципы такого отношения к природным ресурсам изложены в международном документе «Концепция устойчивого экономического развития», принятом на второй Всемирной Конференции ООН по ООС в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

По поводу неисчерпаемых ресурсов «Концепция устойчивого экономического развития» развития настоятельно требует возврата к их повсеместному использованию и там, где это возможно, замены невозобновляемых ресурсов на неисчерпаемые. В первую очередь это касается энергетической отрасли.

Например, перспективным источником энергии является ветер, и на равнинных открытых приморских территориях использование современных «ветряков» оказывается весьма целесообразным. С помощью горячих природных источников можно не только лечить многие заболевания, но и отапливать дома. Как правило, все трудности применения неисчерпаемых ресурсов заключаются не в принципиальных возможностях их использования, а в технологических проблемах, которые приходится решать.

В отношении невозобновляемых ресурсов в «Концепции устойчивого экономического развития» сказано, что их добычу следует сделать нормативной, т.е. уменьшить темпы извлечения полезных ископаемых из недр. Мировому сообществу придется отказаться от гонки за лидерство по добыче того или иного природного ресурса, главное – не объём извлеченного ресурса, а эффективность его использования. Это означает совершенно новый подход к проблеме добычи полезных ископаемых: надо добывать не столько, сколько может каждая страна, а столько, сколько нужно для устойчивого развития мировой экономики. Разумеется, к такому подходу мировое общество придет не сразу, для его реализации потребуются десятилетия.

В отношении возобновляемых ресурсов «Концепция устойчивого экономического развития» требует, чтобы их эксплуатация производилась хотя бы в рамках простого воспроизводства, и общее их количество не сокращалось во времени. На языке экологов это значит: сколько взяли у природы возобновляемого ресурса (например, леса), столько и верните (в виде лесопосадок). Бережного отношения и охраны требуют и земельные ресурсы. Для защиты от эрозии используют:

- лесозащитные полосы;
- вспашку без переворачивания пласта;
- в холмистых районах – вспашку поперек склонов и залуживание земель;
- регулирование выпаса скота.

Нарушенные, загрязнённые земли можно восстановить, этот процесс называется рекультивацией. Такие восстановленные земли можно использовать в четырёх направлениях: для сельскохозяйственного использования, под лесопосадки, под искусственные водоемы и под жилищное или капитальное строительство. Рекультивация состоит из двух этапов: горнотехнического (подготовка территорий) и биологического

(посадка деревьев и малотребовательных культур, например, многолетних трав, технических злаков бобовых).

К числу важнейших экологических проблем современности относится и охрана водных ресурсов. Трудно переоценить роль океана в жизни биосферы, осуществляющего процесс самоочищения воды в природе при помощи живущего в нем планктона; стабилизирующего климат планеты, находясь в постоянном динамическом равновесии с атмосферой; продуцирующего огромную биомассу. Но для жизни и хозяйственной деятельности человеку нужна пресная вода. Необходима жёсткая экономия пресной воды и недопущение её загрязнения.

Экономию пресной воды следует осуществлять в быту: во многих странах жилые дома снабжены водомерными счётчиками, это весьма дисциплинирует население. Загрязнение водоёмов губительно не только для человечества, нуждающегося в питьевой воде. Оно способствует катастрофическому сокращению рыбных запасов как на мировом, так и на российском уровне. В загрязнённых водоёмах уменьшается количество растворённого кислорода и происходит гибель рыбы. Очевидно, что необходимы жёсткие природоохранные меры для недопущения загрязнения водных объектов и для борьбы с браконьерством.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы – одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире. Интерес к получению дешёвых ресурсов, которыми являются вторичные полимеры, весьма ощутим, поэтому мировой опыт их вторичной переработки должен быть востребован.

В странах, где охране окружающей среды придают большое значение, объёмы переработки вторичных полимеров постоянно увеличиваются. Законодательство обязывает юридических и частных лиц выбрасывать полимерные отходы (гибкую упаковку, бутылки, стаканчики и т.д.) в специальные контейнеры для их последующей утилизации. Сегодня на повестку дня становится не только задача утилизации отходов различных материалов, но и восстановления ресурсной базы. Однако возможность использования отходов для повторного производства ограничивается их нестабильными и худшими по сравнению с исходными материалами механическими свойствами. Конечная продукция с их использованием часто не удовлетворяет эстетическим критериям. Для некоторых видов продукции использование вторичного сырья вообще запрещено действующими санитарными или сертификационными нормами.

Например, в ряде стран действует запрет на использование некоторых вторичных полимеров для производства пищевой упаковки. Сам процесс получения готовой продукции из вторичных пластиков связан с рядом трудностей. Повторное использование утилизируемых материалов требует особой перенастройки параметров технологического процесса в связи с тем, что вторичный материал изменяет свою вязкость, а также может содержать неполимерные включения. В некоторых случаях к готовой продукции предъявляются особые механические требования, которые просто невозможно соблюсти при использовании вторичных полимеров. Поэтому для использования вторичных полимеров необходимо достижение баланса между заданными свойствами конечного продукта и средними характеристиками вторичного материала. Основой для подобных разработок должна стать идея создания новых изделий из вторичных пластиков, а также частичной замены первичных материалов вторичными в традиционных изделиях. В последнее время процесс вытеснения первичных полимеров на производствах настолько интенсифицировался, что только в США производится более 1400 наименований изделий из вторичных пластмасс, которые раньше производились только с использованием первичного сырья.

Таким образом, продукты вторичной переработки пластмасс могут использоваться для производства изделий, ранее производимых из первичных материалов. Например, возможно производство пластиковых бутылок из отходов, т. е. переработка по замкнутому циклу. Также вторичные полимеры пригодны для изготовления объектов, свойства кото-

рых могут быть хуже, чем у аналогов, изготовленных с использованием первичного сырья. Последнее решение носит название «каскадной» переработки отходов. Она с успехом применяется, например, компанией FIAT auto, которая перерабатывает бамперы отслуживших свой срок автомобилей в патрубки и коврики для новых машин.

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Охрана природы – комплекс мер по сохранению, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов и окружающей среды, в том числе видового разнообразия флоры и фауны, богатства недр, чистоты вод, лесов и атмосферы Земли. Охрана природы имеет экономическое, историческое и социальное значение.

Методы природоохранной работы обычно принято подразделять на группы:

- законодательные
- организационные,
- биотехнические
- воспитательно-пропагандистские.

Правовая охрана природы в стране основывается на всесоюзных и республиканских законодательных актах и соответствующих статьях уголовных кодексов. Надзор за их надлежащим выполнением осуществляют государственные инспекции, общества охраны природы и полиция. При всех этих организациях могут создаваться группы общественных инспекторов. Успешность правовых методов охраны природы зависит от оперативности надзора, строгой принципиальности в выполнении своих обязанностей со стороны тех, кто его осуществляет, от знания инспекторами-общественниками способов учёта состояния природных ресурсов и природоохранного законодательства.

Организационный метод охраны природы складывается из различных организационных мероприятий, имеющих своей целью экономное расходование природных ресурсов, более целесообразное их потребление, замену естественных ресурсов искусственными. Предусматривается также решение других задач, связанных с эффективным сбережением природных богатств.

Биотехнический метод охраны природы включает многочисленные способы непосредственного воздействия на охраняемый объект или окружающую обстановку в целях улучшения их состояния и защиты от неблагоприятных обстоятельств. По степени воздействия обычно различают пассивные и активные способы биотехнической охраны. К первым относят заповедание, заказ, запрещение, ограждение, ко вторым – восстановление, воспроизводство, изменение использования, спасение и т.д.

Воспитательно-пропагандистский метод сочетает все формы устной, печатной, наглядной, радио- и телевизионной пропаганды для популяризации идей охраны природы, воспитания у людей привычки постоянно заботиться о ней.

Мероприятия, связанные с охраной природы, можно также разделить на следующие группы:

- естественнонаучные
- технико-производственные,
- экономические,
- административно-правовые.

Мероприятия по охране природы могут осуществляться в международном масштабе, общегосударственном масштабе или в пределах отдельного региона.

Первой в мире мерой по охране свободно живущих в природе животных стало решение об охране серн и сурков в Татрах, принятое в 1868 году земским сеймом во Львове и австро-венгерскими властями по инициативе польских естествоиспытателей М. Новицкого, Э. Яноты и Л. Зейснера.

Опасность неконтролируемого изменения окружающей среды и вследствие этого угроза существованию на Земле живых организмов (в том числе человека) потребовали решительных практических мер по защите и охране природы, правового регулирования использования природных ресурсов. Среди таких мер – очистка окружающей среды, упорядочение использования химикатов, прекращение производства ядохимикатов, восстановление земель, а также создание заповедников. В Красную книгу занесены редкие растения и животные.

В России природоохранные меры предусмотрены в земельном, лесном, водном и другом федеральном законодательстве.

В ряде стран в результате осуществления правительственных природоохранных программ удалось существенно улучшить качество окружающей среды в отдельных регионах (например, в результате многолетней и дорогостоящей программы удалось восстановить чистоту и качество воды в Великих озёрах). В международном масштабе наряду с созданием различных международных организаций по отдельным проблемам охраны природы действует Программа ООН по окружающей среде.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЧЕЛОВЕКА

Экологическая культура – это уровень восприятия людьми природы, окружающего мира и оценка своего положения во вселенной, отношение человека к миру. Здесь необходимо сразу прояснить, что имеется в виду не отношение человека и мира, что предполагает ещё и обратную связь, а только отношение его самого к миру, к живой природе.

Под экологической культурой понимают весь комплекс навыков бытия в контакте с окружающей природной средой. Все большее число учёных и специалистов склоняются к мнению, что преодоление экологического кризиса возможно лишь на основе экологической культуры, центральная идея которой: совместное гармоничное развитие природы и человека и отношение к природе не только как материальной, но и как духовной ценности.

Формирование экологической культуры рассматривается как сложный, многоаспектный, длительный процесс утверждения в образе мышления, чувств и поведения жителей всех возрастов:

- экологического мировоззрения;
- бережного отношения к использованию водных и земельных ресурсов, зеленых насаждений и особо охраняемых территорий;
- личной ответственностью перед обществом за создание и сохранение благоприятной окружающей среды;
- осознанного выполнения экологических правил и требований.

«Только переворот в умах людей принесёт желанные перемены. Если мы хотим спасти себя и биосферу, от которой зависит наше существование, все ... – и стар и млад – должны стать настоящими, активными и даже агрессивными борцами за охрану окружающей среды» – такими словами завершает свою книгу Уильям О. Дуглас, доктор права, бывший член Верховного суда США.

Переворот в умах людей, который так необходим для преодоления экологического кризиса, сам по себе не произойдёт. Он возможен при целенаправленных усилиях в рамках государственной экологической политики и самостоятельной функции государственного управления в сфере окружающей среды. Эти усилия должны иметь целью экологическое воспитание всех поколений, особенно молодых, воспитание чувства бережного отношения к природе. Необходимо формирование экологического сознания, индивидуального и общественного, основанного на идее гармоничных взаимоотношений человека и природы, зависимости человека от природы и ответственности за её сохранение для будущих поколений.

Одновременно важнейшей предпосылкой решения экологических проблем в мире является целенаправленная подготовка экологов – специалистов в области экономики, техники, технологии, права, социологии, биологии, гидрологии и др. Без высококвалифицированных специалистов, обладающих современными знаниями по всему спектру вопросов взаимодействия общества и природы, особенно в процессе принятия экологически значимых хозяйственных, управленческих и иных решений, достойного будущего у планеты Земля может не быть.

Однако даже обладая организационными, людскими, материальными и иными ресурсами для решения вопросов охраны окружающей среды, люди должны обрести необходимую волю и мудрость, чтобы адекватно использовать эти ресурсы.

Заключение

Загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов и нарушения экологических связей в экосистемах стали глобальными проблемами. И если человечество будет продолжать идти по нынешнему пути развития, то его гибель, как считают ведущие экологи мира, через 2–3 поколения неизбежна.

Нарушение экологического равновесия в современном мире приняло такие размеры, что произошло нарушение баланса между природными системами, необходимыми для жизни и демографических потребностей человечества.

Современному человеку выпало самое тяжелое испытание за всё время его существования: ему необходимо преодолеть экологический кризис, вызванный ограниченными запасами природных ресурсов (возобновляемых и невозобновляемых), преодолеть энергетический кризис и одновременно многостороннее загрязнение природной среды, взрыв популяции, голод и множество других проблем. Но как бы ни парадоксально звучало, создателем сегодняшней экологической ситуации в мире является сам человек, его всепреобразующая деятельность.

Определяя круг наиболее актуальных экологических проблем, нельзя остановиться отдельно на нескольких. Как важнейшие, можно выделить, пожалуй, лишь направления, упуская из внимания которые человечество ставит под угрозу сам факт своего существования. К таким группам можно отнести проблемы, связанные, например, с наиболее жизненно важными природными ресурсами.

Последствия нарушений природных явлений переходят границы отдельных государств и поэтому требуются международные усилия в охране не только отдельных экосистем, но и всей биосферы в целом. Все государства испытывают беспокойство за судьбу биосферы и дальнейшее существование человечества. В 1971 году ЮНЕСКО, в состав которой входит большинство стран, приняла Международную программу «Человек и биосфера», изучающую изменения биосферы и её ресурсов под воздействием человека. Эти важные для судеб человечества проблемы могут быть решены только путём тесного международного сотрудничества.

Население Земли увеличивается, а значит, увеличивается сила вмешательства человека в природу. Ясно, что такими темпами, как сейчас, природные невозобновимые ресурсы, которые человек так активно использует, скоро исчерпаются. Даже возобновимые ресурсы сейчас в дефиците, так как темпы их потребления опережают темпы их обновления. В процессе своей деятельности человек выбрасывает в окружающую среду отходы, многие из которых не могут быть переработаны и потому загрязняют её. Загрязняя среду, человек в первую очередь лишает места обитания себя самого, а также лишает его и других видов.

Угрожающий характер глобальных экологических проблем во многом связан с колоссально возросшими средствами воздействия человечества на окружающий мир и огромным размахом (масштабом) его хозяйственной деятельности, который стал сопоставим с геологическими и другими планетарными естественными процессами.

Для решения современных экологических проблем необходимо изменение индустриальной цивилизации и создание новой основы общества, где ведущим мотивом производства будет удовлетворение существенных человеческих потребностей, равномерное и гуманное распределение природных и созданных трудом богатств.

Защита природы непосредственно касается всех. Все люди дышат одним и тем же воздухом Земли, все пьют воду и едят пищу, молекулы которой непрерывно участвуют в бесконечном круговороте вещества в биосфере планеты. Возможно, ещё есть шанс исправить экологическую ситуацию в мире, и мы должны воспользоваться этим шансом, восстановить в биосфере то, что мы нарушили, и научиться жить в согласии с природой.

Литература:

1. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Промсвещение-Юг», 2011. – 603 с.
2. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.

3. Тюхтенева З.И., Сороцкая Л.Н., Солоненко Л.А., Поварова Л.В., Тлехусеж М.А., Цымбал М.В. Экология : учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений. – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2019. – 127 с.
4. Шалимов А.И. Экология: тревога нарастает. – Л. : Лениздат, 1989. – 79 с.
5. Основные экологические проблемы современности и пути их решения [Электронный ресурс]. – URL : http://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0b65625a2ac69a5c53b89421306d27_0.html
6. Абдукадирова Ф.Б., Турапова Н. Экологический мониторинг и его задачи // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 25–27.
7. Арифжанова М., Аюпова М., Усманова Г. Некоторые аспекты оценки состояния экологической безопасности нефтегазовых объектов // Булатовские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 92–94.
8. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – С. 39–42.
9. Кочетова Ж.Ю., Кравченко А.А., Верхов С.В. Влияние нефтезагрязнения на почву и способы её рекультивации // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 67–70.
10. Липский В.К., Спиридёнок Л.М. Стационарные рубежи удержания разлившейся нефти на реках // Булатовские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 178–182.
11. Озерова Е.В., Кучеренко С.В. Современное состояние нефтегазового комплекса мира и России // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 235–237.
12. Поварова Л.В. Анализ методов очистки нефтесодержащих сточных вод // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 1. – С. 189–205.
13. Поварова Л.В. Экологические риски, связанные с эксплуатацией нефтяных месторождений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 112–122.
14. Поварова Л.В. Рациональное использование производственных сточных вод // Актуальные вопросы охраны окружающей среды: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции (17–19 сентября 2018 года, Белгород). Секция 2. Очистка природных и сточных вод. – Белгород : Издательство Белгородского государственного технологического университета, 2018. – С. 160–167.
15. Поварова Л.В., Кусов Г.В. Нормативно-техническое регулирование экологической безопасности в нефтегазовой отрасли // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 195–216.
16. Поварова Л.В. Анализ применения биотехнологий для очистки различных загрязнений окружающей среды // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 190–206.
17. Поварова Л.В. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду и определение методов борьбы с ними // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/34.pdf>
18. Сабуров Х.М., Мурадов Б.З., Мухамедгалиев Б.А. Загрязнение окружающей природной среды отходами производства // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 110–111.
19. Савенок О.В., Савенок Н.Б. Утилизация буровых сточных вод // Труды КубГТУ. Серия: Нефтегазопромысловое дело. – Краснодар : КубГТУ, 2003. – Т. XIX. – Вып. 3. – С. 253–257.
20. Савенок О.В., Поварова Л.В., Березовский Д.А. Перспективы использования физико-химического и математического моделирования для разработки высокоэффективной комплексной технологии очистки и подготовки пластовых вод // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 66–71.
21. Савенок О.В., Поварова Л.В., Приходько М.Г. Факторы, обуславливающие экологическую опасность нефтедобычи // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодёжи «Экологические проблемы нефтедобычи – 2014» (21–23 октября 2014 года, г. Уфа). – Уфа : изд-во «РИЦ УГНТУ», 2014. – С. 28–32.
22. Талипова Н.З., Жуманова С.Г., Нигматов И. Культура безопасности – важный аргумент для современного стиля жизни населения планеты // Булатовские чтения: Материалы I

Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 224–226.

23. Третьяк Л.П., Абдуллаев А.А. Оценка риска как перспективное направление для обеспечения безопасности в нефтегазовой промышленности // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 296–298.

24. Чернова К.В. К вопросу о ликвидации разливов нефти и нефтепродукта в процессе освоения арктического шельфа // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 347–348.

References:

1. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the construction of oil and gas wells : textbook for university students. – Krasnodar : Prosveshchenie-South LLC, 2011. – 603 p.

2. Bulatov A.I., Savenok O.V. Underground overhaul of the oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.

3. Tyukhteneva Z.I., Sorotskaya L.N., Solonenko L.A., Povarova L.V., Tlehushezh M.A., Tsymbal M.V. Ecology : teaching aid for students of higher education institutions. – Krasnodar : Published by Kuban State Technical University, 2019. – 127 p.

4. Shalimov A.I. Ecology: the alarm is growing. – L. : Lenizdat, 1989. – 79 c.

5. Main ecological problems of the present time and ways of their solution [Electronic resource]. – URL : http://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0b65625a2ac69a5c53b89421306d27_0.html

6. Abdulkadirova F.B., Turapova N. Environmental monitoring and its tasks // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 25–27.

7. Arifzhanova M., Ayupova M., Usmanova G. Some aspects of assessment of the environmental safety of oil and gas facilities // Bulatovskie readings: Materialy of the I International Scientific Conference (March 31, 2017): in 5 tons: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 92–94.

8. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Environmental problems in the development of shale hydrocarbon fields // Environmental protection in the oil and gas complex. – 2015. – № 9. – P. 39–42.

9. Kochetova Zh.Yu., Kravchenko A.A., Verkhov S.V. Influence of oil pollution on the soil and methods of its reclamation // Bulatovskie readings. – 2019. – Vol. 4: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 67–70.

10. Lipsky V.K., Spyryonok L.M. Stationary boundaries of oil spill containment on rivers // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International scientific–practical conference (March 31, 2017): in 5 tons: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. – P. 178–182.

11. Ozerova E.V., Kucherenko S.V. Modern state of the oil and gas complex of the world and Russia // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – С. 235–237.

12. Povarova L.V. Analysis of the oily waste water treatment methods (in Russian) // Nauka. Technics. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 1. – P. 189–205.

13. Povarova L.V. Environmental risks associated with oil field development // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 2. – P. 112–122.

14. Povarova L.V. Rational use of industrial wastewater // Topical issues of environmental protection: a collection of reports of the All–Russian Scientific and Technical Conference (17–19 September 2018, Belgorod). Section 2. Natural and waste water treatment. – Belgorod : Publishing house of Belgorod State Technological University, 2018. – P. 160–167.

15. Povarova L.V., Kusov G.V. Normative and technical regulation of the ecological safety in the oil and gas industry // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 195–216.

16. Povarova L.V. Analysis of the application of the biotechnologies for purification of the various environmental pollution // Science. Technique. Technologies (polytechnic vestnik). – 2019. – № 1. – P. 190–206.

17. Povarova L.V. Influence of oil spills on the environment and determination of methods to combat them // Herald of student science of the Department of information systems and programming. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/34.pdf>

18. Saburov H.M., Muradov B.Z., Mukhamedgaliev B.A. Environmental pollution with industrial wastes (in Russian) // Bulatovskie readings. – 2019. – Vol. 4: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 110–111.

19. Savenok O.V., Savenok N.B. Drilling waste water utilization // Proceedings of Kuban State Technical University. Series: Oil and gas field business. – Krasnodar : KubGTU, 2003. – V. XIX. – Issue. 3. – P. 253–257.

20. Savenok O.V., Povarova L.V., Berezovsky D.A. Perspectives of the physicochemical and mathematical modeling application for the development of a highly effective complex technology of formation water treatment and preparation (in Russian) // Ecology and industry of Russia. – 2019. – V. 23. – № 3. – P. 66–71.

21. Savenok O.V., Povarova L.V., Prikhodko M.G. Factors that determine the environmental hazard of oil production // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference with elements of a scientific school for young people «Environmental Problems of Oil Production – 2014» (21–23 October 2014, Ufa). – Ufa : RIC UGNTU Publishing House, 2014. – P. 28–32.

22. Talipova N.Z., Zhumanova S.G., Nigmatov I. Security culture – an important argument for the modern lifestyle of the planet's population // Bulatov Readings: Proceedings of the I International Scientific Conference (March 31, 2017): in 5 volumes: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok, Professor. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 224–226.

23. Tretiak L.P., Abdullaev A.A. Risk assessment as a promising direction for ensuring safety in the oil and gas industry // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 296–298.

24. Chernova K.V. To the issue of oil and oil product spill response in the process of Arctic shelf development // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. – P. 347–348.

УДК 621.648 + 616-035.1

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**ECONOMIC REGULATION OF ENVIRONMENTAL ACTIVITIES
AT OIL COMPANIES AND RECOMMENDATIONS
FOR IMPROVING ENVIRONMENTAL SAFETY**

Кусов Геннадий Владимирович
аспирант,
Северо-Кавказский федеральный университет
de_france@mail.ru

Kusov Gennady Vladimirovich
Graduate Student,
North-Caucasian Federal University
de_france@mail.ru

Аннотация. В статье показано воздействие нефтедобывающего комплекса на окружающую природную среду (показана характеристика нефтяных месторождений как источников загрязнения окружающей среды и описано воздействие нефтедобычи на компоненты окружающей природной среды). Рассмотрено воздействие нефтедобывающей промышленности на условия жизни коренного населения. Представлено нормативно-правовое регулирование экологической безопасности при нефтедобыче (задачи и цели природоохранительного законодательства Российской Федерации; экологическое законодательство). Подробно описана экологическая безопасность работ при нефтедобыче, лицензирование природоохранной деятельности и Участие общественности в принятии решений по строительству объектов нефтедобычи. Приведено нормативно-техническое обеспечение экологической безопасности и охраны труда, экономическое регулирование природоохранной деятельности на нефтедобывающих предприятиях и даны рекомендации по совершенствованию экологической безопасности на нефтедобывающих предприятиях.

Annotation. The article shows the impact of the oil production complex on the environment (the characteristic of oil fields as sources of environmental pollution is shown and the impact of oil production on the components of the environment is described). The impact of the oil industry on the living conditions of the indigenous population is considered. The legal regulation of environmental safety in oil production is presented (objectives and goals of the environmental legislation of the Russian Federation; environmental legislation). The environmental safety of oil production operations, licensing of environmental protection activities and public participation in decision-making on the construction of oil production facilities are described in detail. The normative and technical support of environmental safety and labor protection, economic regulation of environmental protection activities at oil producing enterprises are given, and recommendations are given for improving environmental safety at oil producing enterprises.

Ключевые слова: воздействие нефтедобывающего комплекса на окружающую природную среду; характеристика нефтяных месторождений как источников загрязнения окружающей среды; воздействие нефтедобычи на компоненты окружающей природной среды; воздействие нефтедобывающей промышленности на условия жизни коренного населения; нормативно-правовое регулирование экологической безопасности при нефтедобыче; экологическая безопасность работ при нефтедобыче; лицензирование природоохранной деятельности.

Keywords: impact of the oil production complex on the environment; characteristics of oil fields as sources of environmental pollution; impact of oil production on the components of the natural environment; impact of the oil industry on the living conditions of the indigenous population; legal regulation of environmental safety in oil production; environmental safety of oil production operations; environmental licensing.

Введение
На состояние окружающей природной среды все отрасли народного хозяйства оказывают сильное негативное влияние, но в сегодняшнем критическом положении следует особо выделить приоритетные виды промышленности, развитие которых является наиболее пагубным для окружающей среды. К ним, в первую очередь, относится нефтяная промышленность.

К сожалению, производственная деятельность по добыче нефти, концентрируя в себе колоссальные запасы энергии и вредных веществ в виде нефтяных углеводородов,

является постоянным источником техногенной опасности и возникновения аварий, сопровождающихся чрезвычайными ситуациями и загрязнением природной среды.

Как показывает практика, геохимический техногенез свойственен всем этапам освоения месторождений углеводородов: бурения поисково-разведочных и эксплуатационных скважин, разработки и эксплуатации месторождения, ликвидации промышленных сооружений. Угроза экологического стресса территорий и водоёмов под техногенным воздействием в зонах влияния нефтегазовых технологических объектов усугубляется моральным и физическим старением производственных фондов. Основные фонды нефтяной отрасли уже сейчас имеют сильный износ и большой возраст, что приводит к росту аварийности на технологических объектах и трубопроводах. В России только в 2016 году произошло более 10.000 зарегистрированных аварий на трубопроводах, из них более 95 % из-за коррозии. Указанные обстоятельства, при высокой капиталоемкости и инвестиционной инерционности комплекса, создают огромную угрозу экологической безопасности России, вызывают серьезную озабоченность правительственных органов и общественности.

Поэтому в соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 884 от 13.06.1996 г. «О доктрине развития российской науки» утверждены приоритетные направления развития науки и техники, включающие в себя экологию и рациональное природопользование, в которых выделена некоторая совокупность критических технологий, разработка и практическое использование которых приведёт к улучшению экологической обстановки, развитию экономики страны и обеспечению роста качества жизни народа.

В настоящее время анализ безопасности в нефтегазовой промышленности по существу сводится к чисто инженерным методам достижения технически оправданных уровней безопасности технологических систем и промышленных объектов, а за превышение установленных для каждого промышленного объекта предельно допустимых выбросов и сбросов в худшем случае (если его удастся доказать) накладывается штраф, размеры которого не сильно обременяют доходную часть нефтедобывающего предприятия. Такой подход в целом ориентирован на источник опасности.

Однако растущая динамика аварийности нефтепромышленных сооружений и загрязнения природной среды привела к осознанию на государственном уровне факта, что система экологической безопасности должна быть ориентирована не на источник, а на защищённость человека и окружающей его среды. В такой постановке, которая определена современной концепцией устойчивого развития, принятой мировым сообществом и Российской Федерацией, обеспечение экологической безопасности должно осуществляться системными методами с учётом не только экономических и инженерных факторов, но и экологических, правовых и социальных условий.

Рассматривая указанную проблему с экологических позиций, следует учесть, что на устранение техногенных опасностей, связанных с применяемыми технологиями добычи нефти, необходимо расходовать определённые материальные и финансовые ресурсы, которые всегда ограничены для хозяйствующего предприятия. Непропорционально большие затраты на повышение промышленной и экологической безопасности объектов нефтяного комплекса означают, что в условиях ограниченности ресурсов необходимо отказаться от развития производства, социальной сферы, материальной базы и т.д. На таком пути в обществе будут накапливаться экономические и социальные проблемы, которые в конечном итоге могут привести к снижению экологической безопасности.

В связи с этим важное значение в проблеме обеспечения экологической безопасности на нефтедобывающих предприятиях приобретает проблема оптимального распределения ограниченных материальных и финансовых ресурсов на снижение риска от тех или иных видов опасности. Также необходимо рассматривать и правовое регулирование экологической безопасности на нефтедобывающих предприятиях, что позволяет сформулировать цель данной статьи: разработать методы оптимального управления техногенными воздействиями объектов нефтяного комплекса на природную среду, включая обоснование правовых механизмов оптимизации природоохранной деятельности.

Указанная цель данной статьи достигается путём исследований следующих задач:

- 1) анализа техногенеза, процессов и объектов нефтедобычи на элементы природной и социальной среды;
- 2) рассмотрения правового регулирования в области обеспечения экологической безопасности на нефтедобывающих предприятиях.

Воздействие нефтедобывающего комплекса на окружающую природную среду

Характеристика нефтяных месторождений как источников загрязнения окружающей среды

Типовыми технологическими сооружениями нефтегазовых месторождений, оказывающими воздействие на окружающую среду, являются:

- эксплуатационные и нагнетательные скважины;
- дожимные насосные станции с установками предварительного сброса пластовой воды;
- центральный пункт сбора нефти;
- трубопроводы, по которым осуществляется транспорт продукции скважин;
- кустовые насосные станции, водоводы высокого и низкого давления;
- газопроводы попутного газа;
- линии электропередач и связи;
- дороги и другие сооружения.

Технологические объекты разработки месторождения оказывают влияние на все элементы природной среды: атмосферу, гидросферу, почву, грунты, растительность и животный мир.

Основными источниками выбросов в атмосферу являются:

- скважины, технологические установки, резервуары нефти;
- факельное сжигание, выпуск и продувка газа, выжигание разлитой нефти;
- работа двигателей внутреннего сгорания;
- пыль, поднимаемая летом транспортными средствами;
- утечки газа и испарение лёгких углеводородов.

В атмосферу могут попадать углекислый газ, окись углерода, окислы азота, сернистые соединения, метан, метанол, летучие компоненты дезмульгаторов и ингибиторов коррозии, сажа и др.

Основными источниками загрязнения водоёмов являются:

- пластовые воды;
- буровые растворы и жидкости для ремонта скважин;
- технические и сточные воды, включая бытовые.

Земляные работы могут сильно изменить существующую систему стока, а это, в свою очередь, может привести к изменениям в растительном покрове и живой природе. Технологические процессы на промысле могут быть источником загрязнения водоёмов.

Воздействие нефтедобычи на компоненты окружающей природной среды

Объекты нефтедобычи по степени воздействия на ОПС находятся среди лидеров во многих регионах РФ. При извлечении и подготовке нефти к подаче её в магистральный нефтепровод в окружающую среду (ОС) попадают (кроме нефти) высокоактивные пластовые воды, попутный нефтяной газ, многие химические реагенты, которые используются в бурении скважин и при интенсификации извлечения углеводородов.

Приведём несколько примеров, которые подтверждают сказанное выше. Так, предприятия ТЭК, по официальным данным, ежегодно нарушают до 30 тыс. га земель. Из них около 43 % отнесено к нефтяной отрасли; примерно 7 % всех эксплуатируемых предприятий по добыче нефти относятся к категории с высокой степенью загрязнённости, 70 % – к категории со слабой и средней степенью загрязнённости земель.

Предприятиями отрасли выбрасывается в атмосферу ежегодно более 2,5 млн тонн загрязнённых веществ, сжигается на факелах около 6 млрд м³ попутных газов, остаются неликвидированными десятки и сотни амбаров с буровым шламом, забирается около 740 млн м³ пресной воды.

По данным МПР России и РО «Гринпис», потери нефти и нефтепродуктов за счёт аварийных ситуаций колеблются от 17 до 20 млн тонн ежегодно, что составляет около 7 % объёмов добываемой в России нефти. При стоимости 1 тонны нефти 60–70 долл. ущерб экономике России, не считая экологического, составляет 1–2 млрд долл. Ежегодно происходит более 60 категоризированных аварий, а с учётом промысловых эта цифра возрас-

тает до 20 тыс. случаев с соответствующими экологическими последствиями. Только на территории Ханты-Мансийского АО ежегодно на землю попадает до 2 млн тонн нефти вследствие значительного износа внутрипромысловых трубопроводов с частотой 1,5–2,0 разрыва на 1 км.

Несвоевременная ликвидация шламовых амбаров является вторым по значимости фактором загрязнения и нарушения земель. Только на территории Нижневартовского района этих сооружений построено более 7 тыс., из которых 1,9 тыс. оставлены без рекультивации, а 5 тыс. – без необходимой гидроизоляции. По данным независимых экспертов компании IWACO, в настоящее время в Западной Сибири нефтью и нефтепродуктами загрязнено от 700 до 840 тыс. га земель, а для Самотлорского месторождения эта цифра составляет 6500 га.

Печальный перечень последствий нефтедобычи можно продолжить, однако перечисленные выше проблемы складываются из локальных воздействий добывающих предприятий, экологические проблемы которых можно сгруппировать по следующим направлениям.

Нефтедобывающий комплекс оказывает негативное воздействие на все компоненты окружающей среды: атмосферу, гидросферу, почвенный покров, растительный и животный миры.

К возможным воздействиям на гидросферу относятся следующие:

- изменение стока из-за нарушения рельефа;
- прямое или косвенное воздействие на источники воды в результате удаления растительного покрова;
- загрязнение грунтовых и поверхностных вод в результате сбросов, утечек, дренажа и случайных разливов, связанных с эксплуатацией промысловых объектов;
- загрязнение грунтовых и поверхностных вод буровыми растворами и нефтью в период проведения буровых работ.

К возможным воздействиям разработки нефтяного месторождения на почву относятся:

- эрозия в результате изменения наклона поверхности и запруживания воды;
- изменение условий стекания воды;
- изменение полигональных структур;
- загрязнение в результате сбросов, утечек, дренажа и случайных разливов, связанных с эксплуатацией промысловых объектов.

Изменение почвенных условий может повлечь за собой дальнейшие вторичные воздействия в результате того, что места обитания не могут в прежней мере обеспечить жизнеспособность фауны и флоры. Интенсивная разведка и многолетняя эксплуатация нефтяных месторождений вызывает также деформацию земной коры, сопровождающуюся вертикальными и горизонтальными смещениями горных пород. Под влиянием просадочных явлений происходит искривление стволов скважин, деформация обсадных колонн и разрушение объектов промыслового обустройства.

Локальное понижение поверхности вызывает изменение водного и теплового режима, происходит заболачивание территории за счёт подтока грунтовых вод. Как следствие, изменяются микроклиматические условия и выводятся из сельскохозяйственного оборота ценные земли.

Просадочные явления наблюдаются далеко не повсеместно и, чтобы они имели место, требуется сочетание многочисленных геолого-структурных, гидродинамических и литологических факторов. Отдельные деформации земной поверхности приводили к разрушению промысловых объектов, выводу из строя бурового оборудования и изъятию из оборота пахотных земель. Однако отрицательное воздействие на земельные угодья оказывают не только опускание земной поверхности, но и весь комплекс поисково-разведочных и эксплуатационных работ на нефть.

Земельные отводы под скважины разведочного бурения на нефть и газ установлены в пределах 3–4 га на одну скважину. Однако фактические размеры нарушенных земель значительно больше – от 10–12 до 20 га. Значительные площади приходятся на подъездные пути и т.д.

Почва – важнейший природный ресурс, и одной из главных задач является сохранение почвенного покрова как основного компонента биосферы и носителя плодотворности.

родия. В процессе инженерной подготовки территории, строительства и бурения скважины происходит нарушение земель, а именно:

- нарушение почвенно-растительного слоя;
- рытьё котлованов и выемок под фундаменты сооружений, основания опор, амбаров, траншей;
- сооружение отвалов и насыпей плодородного слоя почвы и минерального грунта;
- накопление строительных и бытовых отходов;
- загрязнение территории нефтепродуктами, отработанными буровыми растворами и другими веществами, применяемыми при бурении.

В результате этого нарушенные земли характеризуются:

- слабовыраженной активностью химико-биологических процессов;
- изменением физических, механических, микробиологических свойств и соответственно растительного покрова;
- слабой противозерозийной устойчивостью почв;
- нарушением стока атмосферных осадков.

Химические загрязнения почв нефтепродуктами и буровыми растворами имеет место при плохой обваловке и слабой гидроизоляции амбаров или при их переполнении. Загрязняющая способность буровых растворов определяется содержанием в них нефтепродуктов, ПАВ, тяжёлых металлов и др. При прорывах высокоминерализованных пластовых вод происходит засоление почв с образованием выцветов соли.

Наиболее устойчиво и опасно нефтяное загрязнение. Степень загрязнения почв нефтью определяется глубиной её проникновения и зависит от физико-химических свойств нефти, механического характера грунтов и количества нефти. Экспериментальными данными установлено, что при достижении остаточного уровня насыщения 10–12 % нефть перестаёт мигрировать. Сильная загрязнённость характеризуется проникновением нефти на глубину более 25 см, средняя – до 10–25 см и слабая – до глубины 10 см. Естественное микробиологическое разложение нефти происходит в почвах очень медленно, поэтому необходимо при возникающих разливах применение специальных сорбентов.

При слабой степени загрязнения нефтью эффективна вспашка, позволяющая разрыхлить и перемешивать загрязнённый слой с нижележащими чистыми слоями.

Для освоения почв со средней загрязнённостью необходимо частичное снятие с поверхности загрязнённого слоя, проведение плантажной вспашки в течение 2–3 лет и внесение минеральных и органических удобрений.

Сильное загрязнение почв требует специальных методов рекультивации и делает их непригодными для ведения сельского хозяйства, лесного и водохозяйственного использования.

Интенсивно применяющееся в настоящее время выжигание нефти или покрытие нефтяных разливов минеральным грунтом увеличивает задержание ароматических углеводородов и бенз(а)пирена. Экспериментально доказано, что период восстановления почвенно-растительного покрова после загрязнения нефтью в количестве 12 л/м составляет от 10 до 25 лет в зависимости от климатических особенностей региона.

Трансформация нефти в почвах происходит в 3 этапа:

- 1) физико-химическое и частично микробиологическое разрушение углеводородов (преимущественно лёгких фракций);
- 2) микробиологическое разрушение низкомолекулярных фракций;
- 3) трансформация высокомолекулярных смол.

Нормальные алканы деградируют в первые месяцы после загрязнения, более устойчивые циклоалканы и тетраароматические углеводороды являются высокоустойчивыми к деградации.

Для характеристики состава нефти были выбраны следующие признаки, по которым можно судить о токсичности, геохимической устойчивости и других вредных свойствах нефти – содержание лёгких бензиновых фракций (кипящих при температуре до 200 °С), парафина, серы.

Лёгкие фракции нефти обладают повышенной токсичностью для живых организмов. В то же время действие этих фракций достаточно кратковременно, а их высо-

кая испаряемость способствует быстрому самоочищению компонентов природной среды. Парафин содержится в разных количествах почвы в любой нефти. Само по себе это вещество не оказывает сильного токсического действия на организм. Но присутствие парафина в нефти в больших количествах благодаря высокой температуре его застывания существенно сказывается на свойствах нефти: увеличивается вязкость, выше становится устойчивость нефти в ландшафте. Попадание парафиновой нефти в почву влечёт за собой на долгий срок нарушение влагообмена и т.д. По соотношению тяжёлых и лёгких фракций и содержанию парафинов можно судить о скорости испарения, вымывания, опасности цементации почв, накопления тяжёлых фракций нефти на дне водоёмов в поймах рек и т.д.

Содержание серы – также существенный признак при оценке влияния нефти на природную среду. Сера находится в нефти в разных формах: в виде элементарной серы, сероводорода, сульфидов, меркаптанов. Любая из этих форм вносит изменения в природные ландшафтно-геохимические процессы, оказывает то или иное токсическое действие на живые организмы. Особенно это относится к сероводороду и меркаптанам.

С увеличением сернистости нефти увеличивается опасность сероводородного заражения загрязнённых водоёмов и почв с избыточным увлажнением (глинистых, болотных, луговых).

Разливы нефти и пластовых вод по поверхности почв приводят к трансформации морфологических, физико-химических и химических свойств почв, подавляя нитрифицирующую способность почв, уменьшают видовое разнообразие микроорганизмов, нарушают баланс веществ и т.д., т.е. в целом нарушают нормальный ход естественного почвообразования.

С поступлением сырой нефти и нефтепродуктов в почвы начинается процесс их естественного фракционирования и разложения. При этом лёгкие фракции постепенно испаряются в атмосферу, а их водорастворимые фракции выщелачиваются из профиля почв нисходящими и боковыми потоками влаги. Тяжёлые фракции нефти, как правило, долго остаются в почвах и очень медленно разлагаются под воздействием микроорганизмов и химических реакций, протекающих в почвах. Свойства почв (щелочно-кислотные, сорбционные, окислительно-восстановительные и т.д.) определяют скорость разложения и особенности миграции различных загрязняющих веществ.

Наиболее подвижные водорастворимые соединения нефтепродуктов в кислой обстановке могут и не задерживаться в почвах, а выщелачиваться из их профиля и накапливаться на седиментационных и восстановительных барьерах в данных отложениях местных водоемов и в поймах рек, т.е. на достаточно удалённых от источника загрязнения геохимически подчиненных территориях, при этом резко расширяется сфера загрязнения.

Окислительные условия свойственны хорошо дренированным почвам. Если сера попадает в почву с окислительной средой, сера окисляется в почве до шестивалентной формы и, соединяясь с металлами, образует в большинстве случаев хорошо растворимые сульфаты. В этом случае загрязнение почв серой не происходит.

Большую роль играет поглощательная способность почв, т.е. свойство почв сорбировать и задерживать те или другие вещества, в т.ч. органические и минеральные нефтепродукты, приходящие в соприкосновение с твёрдой фазой почв, оценка через величину емкости поглощения почв, выраженной в мг/экв. на 100 г сухого вещества. Чем больше емкость катионного поглощения почв, тем больше опасность их загрязнения различными стойкими продуктами нефтедобычи как органического, так и минерального происхождения. Поглощательная способность почв на территории Башкирии средняя 20–40 мг/экв. на 100 г сухих веществ.

В результате действия физико-химической или обменной способности почв из раствора нефтепромысловых вод в почву способен переходить обменный натрий и вызывать процессы вторичного осолонцевания и осолонения почв в связи с техногенным нефтедобывающим фактором. В итоге свойства этих почв резко ухудшаются. Дерново-подзолистые почвы имеют низкую емкость поглощения, а торфяные горизонты некоторых болотных почв имеют очень высокую емкость поглощения – 90–120 мг/экв. Эти почвы благодаря их свойствам можно рассматривать в качестве своеобразных «природных сорбентов», на которых могут закрепляться токсичные органические и минеральные вещества, попадающие в почвы в связи с нефтедобычей.

Поэтому для оценки потенциальной степени опасности загрязнения почв необходимо учитывать процент площадей распространения заболоченных и болотных почв.

При попадании бурового раствора в почву происходит разрушение хлорофилла у зеленых растений, за счёт чего резко снижается поглощение ими солнечной энергии, прекращается фотосинтез и уменьшается продуктивность покровов.

Из вещества и материалов, используемых в бурении, наибольшую опасность для почвогрунтов представляют минеральные соли, нефть и нефтепродукты. При попадании в почву растворимых минеральных солей происходят необратимые изменения её агрохимических свойств, приводящих к потере агрохимической ценности, а в некоторых случаях к развитию почворазрушительных процессов, способствующих перерождению структуры и формированию солончаков.

При попадании в почвы отходов бурения, содержащих токсичные для почвогрунтов солевых компонентов, а также нефть и нефтепродукты резко ухудшаются все свойства почв и заметно падает урожайность возделываемых на таких участках сельскохозяйственных культур. При содержании в составе отработанных буровых растворов более 15 % нефти и нефтепродуктов даже в плодородных чернозёмах урожайность сельскохозяйственных культур падает практически до нуля и почва не восстанавливается в течение 3–6 лет.

Отработанные буровые растворы оказывают меньшее отрицательное влияние на кислые почвы с высоким содержанием органических веществ, а также песчаные почвы, но являются более вредными для щелочных суглинистых почв и почв с высоким содержанием глины. Это связано с щелочной природой отработанных буровых растворов. Выявлено также, что хроматы и барит, присутствующие в буровых растворах, растениями не усваиваются и поэтому не оказывают влияния на пищевую цепь экосистемы.

А предельное содержание нефти и нефтепродуктов в почве не должно превышать ОД г/кг почвы. В этом случае не проявляется губительное действие токсиканта на почву и в растительном сообществе не отмечается мутагенеза.

При проникновении нефти в гумусовый горизонт происходит склеивание структурных разностей грунтовой массы. В результате закупорки капилляров почвы нефтью сильно нарушается аэрация, создаются анаэробные условия, нарушается окислительно-восстановительный потенциал.

Таким образом, анализ материалов исследований по оценке воздействия отходов бурения на объекты природной среды подтверждает необходимость разработки эффективной техники и технологии их очистки, утилизации и нейтрализации вредного воздействия на компоненты окружающей среды.

Прогнозные расчёты уровня загрязнения в районе месторождения указывают, что при соблюдении технологических норм бурения, добычи и транспортировки нефти эти работы не могут оказать серьёзного воздействия на природную среду самого месторождения и прилегающей территории.

Однако обустройство месторождения может привести к изменению местообитания зверей и птиц. В результате шумового воздействия и систематического беспокойства от присутствия людей территория месторождения станет непригодной для обитания лося, волка, кабана, лисицы и ночных хищных птиц.

Загрязнения почв нефтью отрицательно влияет на все группы почвенных беспозвоночных. Наиболее губителен этот вид загрязнения для крупных насекомых, червей. Более устойчивы членистоногие, но и они испытывают серьёзное угнетение.

Многие виды сосудистых растений оказываются устойчивыми, тогда как большинство лишайников погибает. Наиболее токсична группа углеводородов с температурой кипения от 150 до 275 °С. Углеводороды с более низкой температурой кипения менее токсичны, либо безвредны, особенно летучие фракции, поскольку они быстро испаряются, не успевая проникнуть в растительную ткань. Основная причина гибели растительности – нарушение кислородного обмена в системе «почва – растение». Нефть практически вытесняет весь кислород из почвы, поэтому рекультивация (вспашка загрязненной территории и посадка определённых видов растений) является одним из наиболее действенных приёмов устранения последствий разлива нефти на поверхность почвы.

Необходимо учитывать высокую способность нефти к перемещению на большие расстояния и возможность проявления процессов вторичного загрязнения, т.к. последствия аварии для жизни рек могут быть весьма серьёзными.

Одни из наиболее вредных веществ, загрязняющих окружающую среду являются нефть и нефтепродукты.

Косвенные отрицательные эффекты от утечки нефти могут превосходить последствия прямых воздействий на живые организмы. Это объясняется сложной взаимосвязью всех элементов биогеоценоза. Разлитая нефть может полностью изменить структуру природного сообщества, нарушить давно установившиеся равновесия в окружающей среде.

Загрязнение почв нефтью значительно меняет их морфологические, агрохимические и физиологические свойства. Все эти изменения сказываются и на многих животных, для которых почва является средой обитания. Известно, что малые концентрации нефтепродуктов могут стимулировать рост и развитие растений и животных (Исмагилов, Козорез, 1985 и др.), но повышенные – отрицательно действуют на биосферу. Происходит уменьшение численности многих видов организмов: бактерий, грибов, многих групп беспозвоночных животных. Понижаются выживаемость и миграционная активность некоторых видов животных, например, дождевых червей. Почвенные беспозвоночные животные играют важную роль в почвообразовательном процессе. Они служат хорошими индикаторами изменений окружающей среды, возникающих вследствие антропогенного воздействия, в том числе и нефтяного загрязнения.

По мере увеличения интенсивности нефтяного загрязнения происходит обеднение видового разнообразия травостоя и злаков, а для конечных этапов загрязнения характерны одновидовые сообщества.

Амфибии и их личинки – одно из важных звеньев водных и околоводных биоценозов. Они подвергаются действию нефтяных углеводородов в реках и небольших водоемах, куда приходят на размножение и где развиваются икра и головастики. В результате этого происходят: возрастание эмбриональной смертности; снижение массы тела; удлинение сроков развития; увеличивается процент аномалий, патологий, уродств.

Организмы оказываются наиболее чувствительными к различным повреждающим факторам на ранних этапах своего развития.

Как высокотоксичное вещество, нефть может оказывать наркотический эффект. Сырая нефть нарушает функционирование ферментных и белковых систем многих водных растений и животных. У видов, более к ней чувствительных задерживаются деление клеток, их рост. Потребление нефти с кормом сказывается на снижении численности промысловых видов рыб; у уток наблюдаются липоидная пневмония, ожирение печени, увеличение надпочечной железы, различные некрозы и т.д.

Для молоди рыб, наиболее токсичными реагентами являются баритовый утяжелитель, известь, каустическая сода и бихромат калия. Баритовый утяжелитель вызывает резкое снижение интенсивности питания и прироста молоди. Концентрация извести и каустической соды выше 0,05 г/л при рН отработанных буровых растворов более 9,6 вызывает гибель молоди. При изучении влияния степени разведения отработанного бурового раствора на эмбриональное развитие некоторых видов рыб было установлено, что концентрация ОБР в воде свыше 0,007 г/л уже на седьмой день приводит к торможению развития эмбрионов, а нормальное развитие эмбрионов возможно лишь при разведении бурового раствора в 26 тыс. раз.

При нефтедобыче возможны ситуации, когда воздействует либо фактор, либо их совокупность. Перестройки в растительности могут быть обусловлены:

- механическим воздействием;
- механическим в сочетании с нефтяным загрязнением;
- механическим в сочетании с загрязнением минерализованными водами;
- механическим в совокупности с загрязнением нефтью и минерализованными водами.

На территории России в связи с обширностью занимаемых территорий и значительной протяженностью с севера на юг и с запада на восток растительный покров очень разнообразен, что в совокупности с почвенно-климатическими условиями определяет неодинаковую степень устойчивости и характер восстановления растительности, измененной хозяйственной деятельностью. При определении сроков имелось в виду, что нефть полностью удалена с техногенной площадки либо механическим путем, либо сожжена, что

исключает её последующее прямое воздействие. Территория России дифференцируется на 6 зон: I > 30 лет, II – 10–30; III – 10–25; IV – 10–20; V – 5–10; VI – 5 и менее лет. Следует указать, если нефть не удалена, последующее восстановление затягивается на срок, необходимый для разложения нефти и выноса продуктов распада из верхних горизонтов.

Растительность при прямом воздействии нефти погибает полностью, однако полная деградация растительности наблюдается крайне редко. Долгоживущие древесные породы имеют мощную и довольно глубинную корневую систему, поэтому они менее уязвимы к прямому воздействию поверхностных разливов нефти; в то же время период развития ценозов до стадии климаксного сообщества может длиться до нескольких сот лет. Что касается степной растительности, то для формирования растительного покрова, состоящего из короткоживущих видов, требуется меньше времени, чем для покрова с долгоживущими древесными видами. Несмотря на гибель растений, под воздействием нефтепродуктов довольно быстро образуются сомкнутые переходные группировки с господством сорных видов, которые в дальнейшем сменяются зональным типом.

Нефтяные битумы оказывают большое влияние на клеточное деление и рост растений; кроме битумов, важная роль принадлежит элементам, присутствующим в нефтяных водах, часто сопутствующим нефти – бору, йоду, бромю. Поэтому растения претерпевают сильные изменения при попадании нефти непосредственно на них или в почву. Растения становятся уродливыми, болезненно вздутыми, с деформированным стеблем, совсем без листьев или с листьями, превращенными в бесформенные выросты.

Среди растений появляются карлики и гиганты в 2–3 раза превышающие нормальный рост данного вида.

Нефть нарушает нормальный ритм развития растения – растения, которым полагается цвести, не цветут, другие, которые отцвели, уже начинают цвести вторично. Интересно отметить, что аномальные формы, возникающие под влиянием битумов, в которых присутствуют такие вещества, как аценафтен, имеют отчасти наследственный характер и дают начало мелким самостоятельным внутривидовым вариациям и разновидностям.

К возможным воздействиям разработки нефтяного месторождения на растительный мир относятся:

1. Уничтожение растительного покрова или изменения в его составе происходят при строительстве одиночных и кустов скважин, промысловых сооружений, дорог и вспомогательных объектов, факельном сжигании продукции скважин и выжигании разлитой на поверхность нефти, а также производстве земляных работ и загрязнений выбросами, отходами и разливами.

2. Изменения видового состава могут привести к изменению энергетического баланса и циркуляции питательных веществ. Серьезность последствий зависит от структуры местообитания флоры. Неуправляемые пожары, пожирающие тайгу, наносят заметный ущерб окружающей среде и представляют угрозу человеческим жизням и оборудованию. Таежные экосистемы сильно страдают от пожаров, вследствие уничтожения растительного покрова и мест обитания, нарушения ландшафта и заиливания водоемов.

Особо отметим влияние факельных систем и процессов выжигания нефти. Исследования показывают, что в радиусе 60 м от факела растительность отсутствует. Лесная подстилка и гумусовый горизонт выжжены. Грунт в радиусе 20 м прокален и спекся в темно-серый с металлическим блеском монолит толщиной 5–7 см, который местами потрескался. Встречаются белесые пятна солей. В периферийной части отмечаются единичные экземпляры мари белой, водяного перца, иван-чая, вейника пурпурного. В радиусе от 60 до 100 м от факела проективное покрытие растениями колеблется в пределах 1–25 %, кроме вышеперечисленных растений встречаются ситники, а в понижениях – рогоз широколистный. Ширина переходной зоны, в пределах которой проективное покрытие травяно-моховой растительности возрастает от 26 до 75 %, невелика (30 м). Здесь доминируют ситники, горец птичий, единично встречаются иван-чай и вейники.

Устойчивые насаждения ивы и осины начинаются там, где сомкнутость травяно-мохового покрытия превышает 20–30 %. По мере удаления от факела добавляется самосев березы. Всходы хвойных пород отмечаются единично.

Выжигание нефти на поверхности приводит к окончательной гибели растительности, образованию спекшейся корки на поверхности почвы, вторичному образованию

и распространению токсичных и канцерогенных веществ, проникновению несгоревшей нефти вглубь почвы и расширению площади её распространения. Засыпка загрязненных участков землей или песком задерживает доступ кислорода к нефти, что сдерживает процессы деградации загрязненного участка, приводит к образованию сероводорода, вторичного загрязнения и токсикоза почвы и грунтовых вод.

Популяции животных могут оказаться под воздействием изменений в растительном покрове, почве и воде, а также шума. Эти изменения могут воздействовать на места обитания, кормовую базу, места размножения, пути миграции, уязвимость по отношению к хищникам, либо пастбищ в случае северных оленей.

Проблема сохранения биологического разнообразия в настоящее время является актуальной в мировой практике и весьма важной в условиях Западной Сибири и Сахалина, где последствия утраты того или иного вида могут не осознаваться в полной мере.

К наиболее важным факторам, влияющим на биологическое разнообразие, относятся:

- динамика экосистем, обеспечивающих жизнеспособность исчезающих видов;
- наблюдаемые или ожидаемые темпы исчезновения;
- региональные различия в темпах исчезновения;
- минимально допустимый размер генофонда и численность.

Здесь важно учитывать не только виды, которые находятся под угрозой исчезновения, но и малочисленные виды, представляющие особый интерес для коренного населения, или виды, широко использующие свои места обитания лишь в течение непродолжительных периодов. Популяции этих видов могут заметно пострадать под воздействием внешних факторов.

Разработка нефтяных месторождений оказывает воздействия на социальную среду обитания местного и, первую очередь, коренного населения. При этом приходится иметь дело с изменениями жизненного уклада и другими культурно обусловленными ценностями, которые во многих отношениях являются чем-то неосоздаваемым. Этим ценностям трудно дать количественную оценку, но их игнорирование может вызвать озабоченность среди местного населения.

Воздействия на социальную среду приводят к изменениям в:

- землепользовании, включая лесное хозяйство и охотничий промысел, непосредственно, в результате отвода земель или косвенно, в результате строительства подъездных дорог;
- численности населения (в результате иммиграции или местных миграций);
- социально-экономической сфере (занятость населения, оплата труда, доход на душу населения, инфляция, налоги, плата за жильё, доступность услуг в социальном обеспечении, здравоохранение, образование и т.п.);
- социально-культурной сфере (образ жизни, обычаи и верования).

На всех стадиях разработки месторождения должны учитываться и уважаться права и культурное наследие коренного населения, включая естественные права на доступ к земле и прочим природным ресурсам, а также на «продукцию», получаемую из этих ресурсов.

Мероприятия по охране недр и окружающей среды при разработке нефтяных месторождений являются важным элементом и составной частью деятельности нефтегазодобывающих управлений (НГДУ), объединений и компаний, хотя эта деятельность в современных условиях не обеспечивает в полной мере эффективность и безаварийность производства, а, следовательно, и сохранение окружающей природной среды.

Ежегодно разрабатываемые в НГДУ программы природоохранных мероприятий согласовываются с местными и региональными природоохранными организациями, службами санитарно-эпидемиологического надзора. Указанные программы предусматривают организационные и технико-технологические мероприятия.

Анализ процессов нефтедобычи показывает, что в штатных ситуациях эксплуатации месторождения воздействие на природную среду может происходить вследствие осложнений и нарушений технологических режимов при бурении, эксплуатации и ремонте скважин; продувке и разрядке технологического оборудования, нарушении герметичности объектов и коммуникаций системы сбора и подготовки нефти и газа,

результатом которых являются сбросы и выбросы нефти и газа, других загрязняющих веществ на рельеф и атмосферу.

Наибольшую экологическую опасность при возникновении аварийных ситуаций представляют неуправляемые поступления пластовых флюидов по скважинам (открытые фонтаны и выбросы). Вторым по значимости фактором потенциальной экологической опасности являются разливы жидких углеводородов из хранилищ и трубопроводов.

Основными причинами фонтанов являются:

- 1) недостаточная изученность геологического разреза;
- 2) производство работ на растворе недостаточной плотности;
- 3) проведение работ по освоению на неподготовленной скважине;
- 4) неправильные действия обслуживающего персонала;
- 5) применение неработоспособного противовыбросового оборудования (ПВО).

Загрязнение значительных площадей земной поверхности, водоемов и растительного покрова нефтью возможно при открытом фонтанировании без загорания, если неудовлетворительно выполнены организационные и технические мероприятия по ликвидации нефтегазопроявлений. Фонтанирование с загоранием оказывает более опасное воздействие на атмосферу. При этом загрязняющими веществами являются окиси азота (максимальная приземная концентрация составляет 0,5 ПДК), окись углерода (1,0 ПДК), сажа (4,5 ПДК) и несгоревшие углеводороды.

Таким образом, из приведенного материала видно, что при нефтедобыче оказывает негативное влияние на все компоненты окружающей природной среды, особенно на почвенный покров, растительный и животный мир, а также на атмосферу и гидрологическую сеть.

Основными причинами порывов нефтепроводов и водоводов являются их физическое старение, невыполнение планов капремонта трубопроводов и обработки продукции скважин ингибиторами коррозии из-за отсутствия достаточного финансирования этих программ.

По данным Госгортехнадзора России только на северных нефтепромыслах происходит более 40 тыс. отказов в год, и основная масса отказов возникает из-за внутренней коррозии труб. Из-за коррозионных повреждений на промыслах Урало-Поволжья и Башкирии происходит до 0,7–0,9 отказов на километр в год, что на три порядка превышает уровень аварийности на магистральных трубопроводах.

Анализ практики ликвидации аварий на промысловых трубопроводах показывает, что во многих нефтяных компаниях, образовавшихся на базе предприятий бывшего Миннефтепрома СССР, слабо организованы службы обеспечения промышленной и экологической безопасности. Многочисленные реорганизации управления производствами зачастую сопровождаются сокращениями таких служб и отделов. Положение осложняется также жесточайшим экономическим кризисом, охватившим экономику страны, не миновавшим и нефтяную отрасль и приводящим к тому, что подавляющее большинство эксплуатирующих предприятий оказалось не в состоянии производить даже минимально необходимые объемы работ по техническому обследованию трубопроводов, не говоря уже о выведении из эксплуатации и замене. Эти факты отмечены на состоявшемся в декабре 1996 года заседании Коллегии Госгортехнадзора и ОАО НК «ЛУКОЙЛ».

Воздействие нефтедобывающей промышленности на условия жизни коренного населения

Воздействия на социально-экономические условия жизни коренного населения при разработке нефтяных месторождений наиболее значительны в северных областях России – Тимано-Печорской нефтяной провинции, районах Западной Сибири, Сахалина и др. Так, по данным отдела развития экономики и культуры народностей Севера Нефтеюганской администрации в соответствии с «Положением о статусе родовых общинных и семейных угодий в Ханты-Мансийском автономном округе и выделении земельных угодий под родовые» части территорий основных нефтяных месторождений ХМАО являются родовыми угодьями.

Проживающее население в районах месторождений по социально-экономическим, этнокультурным характеристикам и образу жизни разделяется на две категории: абори-

генное (малочисленные народы Севера) и некоренное, в основном русскоязычное, среди которого лишь небольшая часть принадлежит к старожилам и уроженцам Севера. Плотность населения менее 1 жителя на 10 км².

Коренное население было, в основном, занято в традиционных отраслях хозяйства (оленоводство, рыболовство, охота), а также в клеточном звероводстве. В связи с промышленным освоением территорий состояние значительной части пастбищ, родовых угодий было ухудшено, что в свою очередь привело к перевыпасу оленей и дальнейшему разрушению пастбищ. Это снизило численность коренного населения, занятого в традиционных отраслях хозяйства, и во многих национальных поселках безработица стала устойчивым социальным явлением. Например, уровень доходов коренного населения ХМ АО (по данным 1989 года) ниже, чем в среднем по округу у 75,5 % мужчин и 84,5 % женщин.

Нарушение жизненного уклада, низкий уровень медицинского обслуживания, социально-бытовые проблемы привели к сокращению средней продолжительности жизни, снижению общей численности северных народов, и проблема коренного населения уже формулируется как проблема «выживания». Проблемы неустроенного быта и антисанитарии, тяжелые физические работы в экстремальных условиях зимой и летом существуют также среди персонала нефтедобывающих предприятий и сопряженных производств. Поэтому проблемы развития объектов нефтяного комплекса в северных регионах требуют рассмотрения социально-экономических условий с позиций единой общегосударственной политики с учётом эколого-экономической сбалансированности региона, создания благоприятных условий жизни настоящего и будущих поколений, разработки мер, исключающих опасность экологического кризиса.

Средства, полученные от добычи нефти не только должно, но и экономически целесообразно использовать на развитие биологических ресурсов и поддержку традиционных отраслей хозяйства. По данным Института проблем освоения Севера СО РАН производство оленьего мяса в этих районах в 3-5 раз дешевле, чем говядины, речной и озёрной рыбы – в 1,5–2,0 раза дешевле, чем морской. Пользуются спросом товары и продукты местных промыслов.

Коренное население должно иметь право само определять приоритеты и осуществлять контроль за собственным экономическим, социальным и культурным развитием. Необходимо согласие коренного населения на осуществление всех затрагивающих его интересы программ, в частности добычу минеральных ресурсов.

Необходимо наиболее полно компенсировать причиняемый коренному населению ущерб. Очевидно, что некоторые виды ущерба, например, психологический, вообще не могут быть компенсированы. Однако в других случаях ущерб может быть уравновешен значительными экономическими выгодами. При этом компенсация должна быть реальной и эквивалентной с точки зрения приоритетов самого коренного населения.

В программу компенсационных мероприятий могут быть включены:

- строительство объектов и приобретение технологического оборудования для выращивания и комплексной переработки олениводческой, рыбной и звероводческой продукции;
- содействие в освоении новых технологий по производству товаров из местных биоресурсов и организация сбыта промысловой продукции, в том числе зарубежным фирмам;
- финансирование программ по улучшению условий жизни коренного населения;
- создание локальных природоохранных зон.

Исследования показывают, что в большинстве конкретных случаев можно было бы избежать серьезного социально-экономического ущерба, если бы ответственные за выполнение специалисты выполняли элементарные нормы и правила экологической культуры. Для изменения такого положения предлагается:

- разработка программы, предназначенной для рабочих и служащих ПАО НК «Роснефть», не являющихся представителями местного населения, с тем, чтобы они ознакомились с местными культурными традициями, экологическими проблемами, мерами, направленными на охрану окружающей среды, социальными и культурными программами. Эти программы обучения можно реализовать на рабочих местах путем про-

ведения полевых семинаров для новых рабочих, а представителей коренных национальностей обучить на инструкторов;

– разработка программы систематического накопления и анализа традиционных знаний северных народов, касающихся природы. Как показывает опыт работы в других регионах мира, коренное население может предоставить важную и подробную информацию по местной и региональной экологии, которую можно эффективно использовать при планировании работ;

– привлечь местное население, представителей администрации и специалистов к разработке планов по охране окружающей среды, решению ключевых экологических проблем, к охране важных видов дикой природы, ликвидации аварийных разливов нефти;

– разработка соглашения о компенсации ущерба, нанесённого дикой природе в случае аварии или других непредвиденных обстоятельств, на территории родовых угодий.

Таким образом, разработка нефтяных месторождений оказывает воздействия на социальную среду обитания местного и, первую очередь, коренного населения. При этом приходится иметь дело с изменениями жизненного уклада и другими культурно обусловленными ценностями, которые во многих отношениях являются чем-то неосознаваемым. Этим ценностям трудно дать количественную оценку, но их игнорирование может вызвать озабоченность среди местного населения. Для создания благоприятных условий жизни настоящего и будущих поколений коренного населения, проживающего на территориях нефтегазовых предприятий, разработан и предложен к внедрению комплекс мероприятий по формированию и компенсации изменившихся социально-экономических условий.

Нормативно-правовое регулирование экологической безопасности при нефтедобыче

С принятием новой Конституции РФ, которая закрепила многообразие и равенство всех форм собственности на природные ресурсы, возникла качественно новая характеристика правового регулирования экологической безопасности.

Право является важнейшим инструментом, используемым государством для обеспечения экологической безопасности. Именно благодаря законодательству регулируется хозяйственная деятельность и рациональное использование природных ресурсов.

Задачи и цели природоохранительного законодательства Российской Федерации

Регулирование отношений в сфере взаимодействия общества и природы с целью сохранения природных богатств и естественной среды обитания человека, предотвращения экологически вредного воздействия хозяйственной и иной деятельности, оздоровления и улучшения качества окружающей природной среды, укрепления законности и правопорядка в интересах настоящего и будущих поколений людей.

Основополагающими актами государственного регулирования Российской Федерации в области обеспечения экологической безопасности при реализации хозяйственной деятельности по освоению месторождений нефти являются Конституция Российской Федерации, законы РФ, Указы Президента РФ, Постановления Правительства РФ.

Конституция Российской Федерации определяет, что земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в Российской Федерации, как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории. Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о её состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением, и обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам.

В соответствии с законом «О безопасности» обеспечение экологической безопасности в Российской Федерации осуществляется государственными органами, обеспечивающими безопасное ведение – работ в промышленности, энергетике, на транспорте и в сельском хозяйстве, природоохранительными органами и органами охраны здоровья населения в соответствии с законами РФ, указами Президента РФ, краткосрочными и долгосрочными федеральными программами обеспечения безопасности.

Недропользование в России регулируются законом «О недрах» (1995 год). Отношения, связанные с использованием и охраной вод, растительного и животного мира, атмосферного воздуха и земель, возникающие при пользовании недрами, регулируются природоохранительным законодательством. В соответствии с Указом Президента «Основные положения государственной стратегии РФ по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития» (1994 г.) основными направлениями по обеспечению экологически безопасного устойчивого развития являются:

- экологически обоснованное размещение производительных сил;
- экологически безопасное развитие промышленности, энергетики, транспорта и коммунального хозяйства;
- неистощительное использование возобновимых природных ресурсов;
- рациональное использование невозобновимых природных ресурсов.

В целях охраны среды обитания и восстановления нарушенных экосистем предусматривается:

- предотвращение загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов;
- предупреждение и уменьшение опасного воздействия природных явлений, техногенных аварий и катастроф;
- решение экологических проблем районов Крайнего Севера с обеспечением особого режима природопользования;
- решение межгосударственных экологических проблем (трансграничное загрязнение, проблемы Балтийского, Каспийского, Чёрного морей, Арктического региона).

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» в комплексе с другими мерами организационного, правового экономического и воспитательного воздействия призван обеспечить экологическую безопасность на территории России. Министерство природных ресурсов РФ и его территориальные органы являются специально уполномоченными государственными органами Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды и в пределах своей компетенции координирует деятельность специально уполномоченных государственных органов Российской Федерации, осуществляющих эти функции в соответствующих сферах управления: Комитета Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству, Комитета Российской Федерации по рыболовству, Федеральной службы геодезии и картографии России, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Комитета по водному хозяйству, а также других министерств и ведомств и их территориальных органов, которые в соответствии с законодательством решают вопросы в области охраны окружающей природной среды (Госгортехнадзор, Госкомсанэпиднадзор, и др.).

Водный кодекс Российской Федерации (2006 г.) представляет собой документ, регулирующий отношения в области использования и охраны водных объектов.

Поверхностные воды и земли, покрытые ими и сопряжённые с ними (дно и берега водного объекта), рассматриваются как единый водный объект. Отношения по поводу земель, недр, растительного и животного мира, атмосферного воздуха, возникающие при использовании и охране водных объектов, регулируются водным законодательством в той мере, в какой это необходимо для рационального использования и охраны водных объектов.

К полномочиям государства в области использования и охраны водных объектов относятся, в частности:

- определение государственной политики в области использования и охраны водных объектов;
- разработка и принятие федеральных законов и иных нормативных правовых актов, контроль за их соблюдением;
- проведение единой инвестиционной политики в области использования и охраны водных объектов;
- разработка, утверждение и реализация федеральных государственных программ по использованию, восстановлению и охране водных объектов, а также федеральных государственных программ по предупреждению и ликвидации последствий вредного воздействия вод;
- проведение единой научно-технической политики, разработка и утверждение единой нормативно-методической базы, организация и финансирование фундамен-

тальных и прикладных научных исследований в области использования и охраны водных объектов;

- установление порядка ведения и ведение государственного мониторинга водных объектов, государственного водного кадастра, а также порядка осуществления и осуществление государственного учёта поверхностных и подземных вод;

- установление порядка использования водных объектов;

- определение принципов экономического регулирования использования, восстановления и охраны водных объектов, порядка установления и взимания платы, связанной с использованием водных объектов, а также установление её предельных размеров;

- установление порядка организации и проведения государственного контроля за использованием и охраной водных объектов;

- проведение государственной экспертизы предпроектной и проектной документации на строительство и реконструкцию хозяйственных и других объектов, влияющих на состояние водных объектов;

- охрана исконной среды обитания и традиционного образа жизни малочисленных этнических общностей при использовании водных объектов.

Использование отдельных водных объектов может быть ограничено, приостановлено или запрещено в целях обеспечения защиты основ конституционного строя, обороны страны и безопасности государства, охраны здоровья населения, окружающей природной среды и историко-культурного наследия, прав и законных интересов других лиц. Нормирование в области использования и охраны водных объектов заключается:

- а) в установлении лимитов водопользования (водопотребления и водоотведения);

- б) в разработке и принятии стандартов, нормативов и правил.

Водопользователи при использовании водных объектов обязаны:

- рационально использовать водные объекты, соблюдать условия и требования, установленные в лицензии на водопользование и договоре пользования водным объектом;

- не допускать нарушения прав других водопользователей, а также нанесения вреда здоровью людей, окружающей природной среде;

- не допускать ухудшения качества поверхностных и подземных вод, среды обитания объектов животного и растительного мира, а также нанесения ущерба хозяйственным и иным объектам;

- содержать в исправном состоянии очистные, гидротехнические и другие водохозяйственные сооружения и технические устройства;

- информировать в установленном порядке соответствующие органы государственной власти об аварийных и других чрезвычайных ситуациях, влияющих на состояние водных объектов;

- своевременно осуществлять мероприятия по предупреждению и устранению аварийных и других чрезвычайных ситуаций, влияющих на состояние водных объектов;

- вести в установленном порядке учет забираемых, используемых и сбрасываемых вод, количества загрязняющих веществ в них, а также систематические наблюдения за водными объектами и предоставлять указанную информацию бесплатно и в установленные сроки в специально уполномоченный государственный орган управления использованием и охраной водного фонда, а по подземным водным объектам – также и в государственный орган управления использованием и охраной недр;

- своевременно вносить платежи, связанные с использованием водными объектами;

- осуществлять иные мероприятия по охране водных объектов.

При размещении, проектировании, строительстве, засорение, истощение водных объектов и вредное воздействие вод:

- водозаборных и сбросных сооружений без рыбозащитных устройств и устройств, обеспечивающих учёт забираемых и сбрасываемых вод;

- сооружений и устройств для транспортирования и хранения нефтяных и других химических продуктов без оборудования их средствами для предотвращения загрязнения водных объектов и контрольно-измерительной аппаратурой для обнаружения утечки указанных продуктов.

При геологическом изучении недр, разведке и добыче полезных ископаемых недропользователи обязаны не допускать загрязнение, засорение и истощение водных объектов.

Лица, виновные в нарушении водного законодательства Российской Федерации, несут административную и уголовную ответственность в соответствии с законодательством РФ. Наложение штрафа не освобождает виновных лиц от обязанности устранения допущенных нарушений и возмещения причиненного ущерба.

На основании закона «О безопасности» министерства и государственные комитеты Российской Федерации в пределах своей компетенции разрабатывают внутриведомственные инструкции (положения) по обеспечению безопасности. В соответствии с этим законом Совет безопасности Российской Федерации в случае необходимости выработки предложений по предотвращению чрезвычайных ситуаций и ликвидации их последствий может создавать постоянные и временные межведомственные комиссии на функциональной или региональной основе.

Закон «О безопасности» относит нефтедобычу, промысловый и магистральный транспорт нефти к экологически опасным видам хозяйственной деятельности, а Закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» направлен на предупреждение аварий и обеспечение готовности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, к которым относятся нефтегазопромысловые сооружения и нефтепроводы, к локализации и ликвидации последствий указанных аварий. Этот закон, по существу, является единственным, который конкретно направлен на предотвращение разливов нефти путём:

- лицензирования деятельности по проектированию, строительству, эксплуатации, реконструкции и консервации (ликвидации) промысловых объектов и нефтепроводов;
- лицензирования и сертификации технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах;
- регламентации требований к проектированию, строительству, приемки и эксплуатации опасного производственного объекта;
- обеспечения готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварии на нефтегазопромысловом сооружении или трубопроводе;
- технического расследования причин аварии;
- производственного контроля за соблюдением требований и экспертизы промышленной безопасности.

Законом также устанавливается обязательность разработки декларации промышленной безопасности и страхования ответственности за причинение вреда. Декларация промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с ней угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности к эксплуатации в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварий; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии.

Законом определяется, что в целях проверки выполнения организациями, эксплуатирующими опасные производственные объекты, требований промышленной безопасности организуется и осуществляется федеральный надзор в области промышленной безопасности.

Экологическое законодательство

При размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию предприятий, сооружений и иных объектов, закон предъявляет определенные экологические требования. В частности:

- должны выполняться требования экологической безопасности, охраны здоровья человека и охраны биоресурсов;
- должны предусматриваться мероприятия по охране природы, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, оздоровлению окружающей природной среды;
- должен вестись учёт ближайших и отдаленных экологических, экономических, демографических, последствий деятельности указанных объектов при приоритете охраны здоровья человека и благосостояния населения;

– необходимо наличие положительного заключения государственной экологической экспертизы, в необходимых случаях при размещении объектов, затрагивающих экологические интересы населения, решение принимается по результатам обсуждения или референдума;

– необходим учёт современного уровня научно-технического прогресса и предельно допустимых нагрузок на окружающую природную среду;

– должны предусматриваться надежные и эффективные меры предупреждения, устранения загрязнения, окружающей природной среды вредными отходами, их обезвреживание и утилизация, внедрение ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий и производств.

Нарушение указанных требований влечёт за собой приостановление до устранения недостатков либо полное прекращение деятельности. Проекты, не удовлетворяющие экологическим требованиям, не подлежат утверждению, а работы по их реализации не финансируются учреждениями соответствующих банков.

Для соблюдения требований природоохранного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды в законе предусматривается экологический контроль и мониторинг. Система экологического контроля и мониторинга состоит из Государственного экологического контроля, государственной службы наблюдения за состоянием окружающей природной среды, государственного, производственного, общественного контроля.

Государственная служба наблюдения за состоянием окружающей природной среды осуществляется специально уполномоченными на то государственными органами Российской Федерации.

Основные цели этой службы включают:

– наблюдение за происходящими в окружающей природной среде физическими, химическими, биологическими процессами;

– наблюдение за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, последствиями его влияния на растительный и животный мир;

– обеспечение заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией об изменениях в окружающей природной среде, предупреждение и прогноз её состояния.

За экологические правонарушения, за противоправные деяния, нарушающие природоохранительное законодательство и причиняющие вред окружающей природной среде и здоровью человека, должностные лица и граждане несут дисциплинарную, административную либо уголовную ответственность, предприятия – административную и гражданско-правовую ответственность в соответствии с законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Уголовным кодексом Российской Федерации, с 1996 годом содержащим главу «Экологические преступления», иными законодательными актами Российской Федерации и субъектов Российской Федерации.

Должностные лица и граждане, предприятия, учреждения, организации, виновные в совершении экологических правонарушений, подвергаются штрафу, налагаемому в административном порядке. Конкретный размер налагаемого штрафа определяется органом, налагающим штраф, в зависимости от характера и вида совершенного правонарушения, степени вины правонарушителя и причиненного вреда.

Уголовная ответственность предусматривается за причинение ущерба окружающей природной среде в ходе хозяйственной деятельности, за нарушение правил обращения с экологически опасными веществами и отходами, за порчу земли, за нарушение правил охраны рыбных запасов, за уничтожение мест обитания для организмов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, за нарушение режима особо охраняемых природных территорий и природных объектов.

Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» определяет обязанности возмещения вреда, причиненного экологическим правонарушением, т.е. конкретизирует положения Гражданского Кодекса Российской Федерации применительно к экологическому законодательству и учитывая специфику регулируемых им общественных отношений.

Кроме того, отношения, связанные с экологической безопасностью работ при добыче полезных ископаемых, регулируются также другими нормативно-правовыми актами.

Экологическая безопасность работ при нефтедобыче

Экологическое сопровождение эксплуатации современного предприятия представляет собой достаточно сложный и непрерывный процесс, который связан с его производственной деятельностью и осуществляется коллективом специалистов под руководством главного инженера или главного технолога. Главным и наиболее эффективным природоохранным мероприятием является экологическое нормирование.

Экологическое нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, как вид экологического сопровождения деятельности предприятия, заключается в разработке и согласовании проекта нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу и получении разрешения на выброс. Проект может разрабатываться как персоналом самого предприятия, так и с привлечением специализированных организаций, занимающихся экологическим нормированием.

Суть данного этапа экологического сопровождения состоит в:

- установлении нормативов ПДВ ЗВ в атмосферу для действующего предприятия на основе анализа технологии производства, инвентаризации источников образования ЗВ и источников их выброса в атмосферу;
- обосновании выбора атмосфероохранных мероприятий, обеспечивающих достижение установленных нормативов.

Цель нормирования – государственное регулирование выбросов в атмосферу, стимулирование предприятия к снижению объёмов и токсичности ЗВ, выбрасываемых в атмосферу, и создание условий для поддержания качества атмосферного воздуха в районе расположения объекта на нормативном уровне.

Нормативы ПДВ вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу и ВСВ (лимиты) устанавливаются территориальными органами МПР РФ для каждого стационарного источника выбросов и производства в целом или его отдельных производственных территорий с учётом всех источников выбросов. Разрешение и условия согласования проекта нормативов ПДВ являются неотъемлемыми частями утверждаемого проекта.

Разработанные нормативы и лимиты используются для расчёта и взимания экологических платежей, связанных с загрязнением атмосферы, для наложения штрафов и предъявления исков о возмещении ущерба при нарушении природоохранного законодательства, оценки эффективности атмосфероохранных мероприятий.

Нормирование деятельности предприятия при данном виде экологического сопровождения заключается в разработке и согласовании проекта нормативов предельно допустимых сбросов загрязняющих в водные объекты и получении разрешения на сброс.

Экологическое нормирование в сфере обращения с отходами, как вид экологического сопровождения деятельности предприятия, заключается в разработке и согласовании проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР) и получении разрешения на размещение отходов. Суть его состоит в:

- установлении норматива образования отходов для действующего предприятия на основе анализа технологии производства и источников образования отходов;
- формировании лимитов размещения отходов;
- выборе и обосновании методов обращения с отходами, обеспечивающих достижение установленных нормативов образования и лимитов размещения.

Цель нормирования – государственное регулирование процессов обращения с отходами, стимулирование предприятия к снижению их объёмов и экологической опасности, соблюдению условий и способов их размещения, ресурсосбережению, утилизации отходов, созданию малоотходных технологий, использованию отходов в качестве вторичных материальных ресурсов.

Нормативы образования отходов разрабатываются для объектов, относящихся к основному производственным фондам, разделенным на виды в зависимости от их целевого назначения и выполняемых функций:

- орудия труда;
- производственные здания и сооружения;
- непроизводственные здания и сооружения;
- линейная часть трубопроводного транспорта (внутри- и межпромысловые трубопроводы), выкидные электрические линии, дороги и др.;
- жилищный фонд;
- другие сооружения.

Нормативы образования отходов классифицируются по степени укрупнения номенклатуры продукции, при производстве которой образуются отходы, на индивидуальные и групповые; в зависимости от сферы применения нормативов – на отраслевые и на уровне предприятия; по периоду действия нормативов – на годовые и перспективные.

Для выполнения требований природоохранного законодательства по соблюдению экологической безопасности работ при нефтедобыче необходимо проведение экологической экспертизы предполагаемой деятельности.

Государственная экологическая экспертиза является обязательной мерой по защите минеральных и живых ресурсов и проводится специально уполномоченными на то федеральными органами по охране окружающей среды и природных ресурсов. Предметом государственной экологической экспертизы должны быть проекты федеральных программ и планов, предплановая, предпроектная и проектная документация, относящиеся к региональному геологическому изучению месторождения, поиску, разведке и разработке минеральных ресурсов.

Законом определены основные принципы экономических отношений при пользовании природными ресурсами, к которым отнесены:

- платность пользования;
- ответственность за нарушение условий хозяйственной деятельности;
- возмещение ущерба, нанесенного территориям, их природным ресурсам, окружающей среде, памятникам истории и культуры;
- финансовое обеспечение мероприятий, связанных с восстановлением и охраной природных ресурсов окружающей среды, памятников истории и культуры.

Поддержание окружающей среды в состоянии, соответствующем экологическим требованиям, обеспечивается установлением и соблюдением нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативов предельно допустимых вредных воздействий на окружающую среду и природные ресурсы, а также других требований и мер, установленных законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды. Порядок разработки и утверждения нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативов предельно допустимых вредных воздействий на окружающую среду и природные ресурсы устанавливаются Правительством Российской Федерации.

Законом запрещается захоронение отходов и других материалов, а также сброс вредных веществ. Однако не считается захоронением отходов, удаление отходов и других материалов, присущих или являющихся результатом нормальной эксплуатации установок и сооружений и не превышающих предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативов предельно допустимых вредных воздействий на окружающую среду и природные ресурсы. Одновременно, сброс вредных веществ не включает выброс вредных веществ, происходящий непосредственно вследствие разведки, разработки и связанных с ними процессов обработки минеральных ресурсов. Деятельность по обращению с отходами в значительной степени регулируется федеральным законом «Об отходах производства и потребления».

Законом определена необходимость лицензирования деятельности по обращению с опасными отходами (отходы бурения и нефтедобычи в определенной своей части относятся к опасным отходам).

Опасные отходы в зависимости от степени их вредного воздействия на окружающую природную среду и здоровье человека подразделяются на классы опасности в соответствии с установленными критериями.

Организуется и осуществляется на федеральном уровне и уровне субъектов Российской Федерации, государственный контроль и надзор за деятельностью в области обращения с отходами. К полномочиям Федерации отнесены установление государственных стандартов, правил, нормативов и требований безопасного обращения с отходами, а также организация государственного учёта и отчётности в области обращения с отходами.

Закон предписывает составление паспорта на опасные отходы. Такой паспорт составляется на основании данных о составе и свойствах опасных отходов, оценки их опасности.

Лицензирование природоохранной деятельности

Лицензирование природоохранной деятельности осуществляется в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Федеральным законом от 8 августа 2001 г. № 128-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» и Положением, утверждённым Правительством Российской Федерации.

Лицензированию подлежат следующие виды деятельности:

– утилизация, складирование, перемещение (в том числе трансграничное), размещение, захоронение, уничтожение промышленных и иных отходов, материалов и веществ, кроме радиоактивных;

– проведение экологической паспортизации;

– проведение экологической сертификации;

– проведение экологического аудита;

– осуществление видов деятельности, связанных с работами (услугами) природоохранного назначения;

– выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, а также вредные физические воздействия на окружающую среду и др.

Основным условием получения лицензии и разрешения является соответствие заявленных условий осуществления лицензируемой деятельности требованиям действующего законодательства Российской Федерации.

Рассмотрение и утверждение решения о выдаче (аннулировании) лицензий и разрешений производится Лицензионной комиссией или её территориальными органами.

Участие общественности в принятии решений по строительству объектов нефтедобычи

Участие общественности в обсуждении и принятии решения о строительстве или реконструкции объекта, могущего воздействовать на окружающую природную среду, является необходимой и важной составной частью участия граждан в обеспечении своего права на надлежащую среду жизнеобитания.

Государство гарантирует экологическим и иным общественным объединениям, выполняющим экологические функции, гражданам возможность реализации предоставленных им прав в области охраны окружающей природной среды в соответствии с законодательством Российской Федерации и субъектов в составе Российской Федерации. Исполнительные и распорядительные органы, специально уполномоченные на то государственные органы в области охраны окружающей природной среды, их должностные лица обязаны оказывать всемерное содействие общественным объединениям и гражданам в реализации их экологических прав и обязанностей, принимать необходимые меры по выполнению их предложений и требований в организации природоохранительной деятельности.

Заявление о воздействии на окружающую среду согласно строительным нормам и правилам является предметом общественного обсуждения с целью выявления и фиксации всех возможных экологических и связанных с ними последствий реализации намеченной деятельности.

Федеральным Законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» определены полномочия граждан и общественных организаций по участию в обсуждении проектов, затрагивающих состояние окружающей среды. Граждане могут принимать участие в собраниях, митингах, пикетах, шествиях и демонстрациях, петициях, референдумах, посвященных размещению, проектированию, реконструкции предприятий, обсуждению планов и программ. Важным полномочием является право требовать от соответствующих органов предоставления своевременной, полной и достоверной информации о состоянии окружающей среды, мерах по ее охране; уместно, таким образом, требование об информации, связанной с экологической частью проекта. Граждане могут требовать в административном или судебном порядке отмены решений о размещении, проектировании, строительстве, реконструкции экологически вредных объектов, ставить вопрос о привлечении к ответственности виновных юридических и физических лиц, предъявлять в суд иски о возмещении вреда, причиненного здоровью и имуществу граждан экологическими правонарушениями.

Дополнительно к этому общественные экологические объединения имеют право рекомендовать своих представителей для участия в государственной экологической экспертизе по вопросам размещения и проектирования объектов, проводить общественную экологическую экспертизу, требовать назначения государственной экологической экспертизы, выступать с изложением своей позиции в средствах массовой информации.

Нормативно-техническое обеспечение экологической безопасности и охраны труда

Реализация концепции безопасности работ по нефтедобыче предполагает использование системы нормативно-технических документов, которая, с одной стороны, отвечала бы сложившейся структуре органов федеральной исполнительной власти, их контрольных и надзорных функций в этой области, схеме разделения полномочий между федеральным центром и субъектами Федерации, а с другой стороны, отвечала бы требованиям системного подхода к учёту накопленного мирового опыта нормативно-правового регулирования проблем безопасности при нефтедобыче.

Многие Федеральные органы исполнительной власти, в рамках своей компетенции, принимают нормативные документы, регулирующие проблемы промышленной, экологической безопасности и охраны труда. Так, например, Госстрой принимает строительные нормы и правила (СНиП своды правил по проектированию (СП) и другие нормативные документы; Госгортехнадзор принимает правила, руководящие документы, инструкции; Госстандарт принимает государственные стандарты; Госсанэпиднадзор – санитарные правила и нормы (СанПиН), гигиенические нормативы и др. Нормативные документы, принимаемые федеральными органами исполнительной власти, наделенными функциями контроля и надзора в определённой области деятельности, носят обязательный характер.

Государственные стандарты

В соответствии с законом Российской Федерации от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании» государственные стандарты принимает Госстандарт России, а в области строительства и промышленности строительных материалов – Госстрой России.

Требования, устанавливаемые государственными стандартами для обеспечения безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, для обеспечения технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов их контроля и единства маркировки, а также иные требования: устанавливаемые законодательством Российской Федерации, являются обязательными для соблюдения государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности.

Прямое отношение задачам обеспечения режима безопасности работ по нефтедобыче имеют системы государственных стандартов по безопасности труда, охране природы, безопасности в чрезвычайных ситуациях. Общее число действующих государственных (ГОСТ РФ) и межгосударственных (в рамках СНГ) стандартов, в этих предметных областях, составляет более 100.

Отраслевые стандарты, ведомственные нормы, руководства, регламенты

В настоящее время к проблемной области проектирования и строительства объектов нефтедобычи России могут быть отнесены около тысячи нормативно-технических документов, которые используются в отрасли добычи, транспорта и хранения нефти и газа на суше, а также нормативные документы бывших союзных министерств энергетики, транспортного строительства, водного хозяйства и других ведомств бывшего СССР.

Значительная доля документов ориентирована на нормативное регулирование порядка разработки, проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проектов организации строительства, оформления и согласования проектно-конструкторской и технологической документации на разработку месторождений, их обустройство, строительство промысловых и других объектов.

Система нормативных документов в области норм проектирования, расчётов и конструкторских норм, стандартов по пожарной безопасности, расчёту оснований и фундаментов технических сооружений, надёжности конструкций, инженерному оборудованию зданий и сооружений, проектированию промысловых объектов, систем сбора и подготовки нефти и газа содержит более 250 документов.

В области охраны окружающей среды имеется несколько десятков ведомственных нормативных документов, регламентирующих отдельные технологические процессы в области нефтедобычи в отношении воздействия на окружающую среду.

Международные стандарты

Международные стандарты, принимаемые Международной организацией по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссией (МЭК), региональные (европейские) стандарты, национальные стандарты других стран применяются в Российской Федерации на основе международных соглашений (договоров) о сотрудничестве или с разрешения соответствующих региональных организаций и национальных органов по стандартизации, если требования этих стандартов удовлетворяют потребностям народного хозяйства.

В соответствии с положениями Государственной системы стандартизации (ГСС) Российской Федерации, международные и региональные стандарты (при условии присоединения к ним Российской Федерации), а также национальные стандарты других стран (при наличии соответствующих соглашений с этими странами) применяются на территории Российской Федерации в качестве государственных стандартов.

Если международный, региональный или национальный стандарт другой страны, подлежащий применению, содержит ссылки на стандарты, не применённые в Российской Федерации, и при этом отсутствуют государственные стандарты, необходимо до его применения решить вопрос о применении этих стандартов.

Международные, региональные стандарты, национальные стандарты других стран могут применяться в качестве стандартов отраслей, стандартов предприятий, до их принятия в качестве государственных стандартов.

Федеральные стандарты

В настоящее время нефтепромысловые объекты, магистральные и промышленные трубопроводы проектируются, строятся и эксплуатируются по федеральным (бывшим союзным) стандартам и нормам, утвержденным Госстандартом и Госстроем России (СССР) и целой системой отраслевых норм, согласованных Госстроем России (СССР) и утвержденных Минтопэнерго Российской Федерации (бывшими Миннефтепромом, Мингазпромом и Миннефтегазстроем СССР).

Федеральную систему норм составляют нормы на проектирование (СНиП 2.05.06-85 «Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы») и производство работ (СНиП Ш-42-80 «Строительные нормы и правила. Правила производства и приёмки работ. Магистральные трубопроводы»), ГОСТ 25812-83 «Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии», а также отраслевые нормативные документы (ВНТП 2-86 «Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов» и 3-85 «Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных месторождений», ВСН 51-3-8. ВСН 2-38-85 «Нормы проектирования промысловых стальных трубопроводов»), согласно которым нефтепроводы относятся к объектам с безотходным технологическим процессом.

Нормативные документы, касающиеся непосредственно учёта аварийных ситуаций на нефтепромысловых объектах и нефтепроводах, выпущены Госгортехнадзором, бывшей Госкомэкологией и Минэнерго Российской Федерации.

Госкомэкологией России (ныне Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов) был определён «Временный порядок оценки и возмещения вреда окружающей среде в результате аварии» (27.06.1994 г. № 200) и разработаны «Инструкция по идентификации источника загрязнения водного объекта нефтью» (02.08.1994 г. № 241), «Методика определения размеров ущербов от деградации почв

и земель» (11.07.1994 г.), «Таксы для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный юридическими и физическими лицами за уничтожение растений, грибов, млекопитающих, птиц и животных» (утверждено Минприродой, по согласованию с Минфином России, зарегистрированы в Минюсте России № 592 от 06.06.1995 г.), «Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба» (утверждено Госкомэкологией России в 1999 году).

Расчёт ущерба и платы за загрязнение атмосферного воздуха и поверхностных вод вследствие разлива нефти при авариях нефтепроводов производится в соответствии с положениями Постановления правительства Российской Федерации № 632 от 28.08.92 г. «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов и другие виды вредного воздействия».

Комплексная оценка земель, изъятых в постоянное или временное пользование, загрязненных нефтепродуктами или другими веществами, производится по различным методикам. Так экономическая оценка земель Ханты-Мансийского АО проводится на основе «Инструкции по внедрению комплексной экономической оценки природных ресурсов в качестве нормативов платежей при нецелевом использовании земель в административных районах ХМАО (Нефтеюганский район)», разработанной Институтом экономики УО РАН.

Методология экономической оценки включает в себя оценку земельных, лесных и охотничьих ресурсов с ресурсами побочного и второстепенного пользования. Методика базируется на выделении ключевых кварталов лесных угодий. Под ключевыми кварталами понимаются наиболее типичные для данной экологической группы лесные угодья, болотистые и обводненные территории с характерным набором лесных, дикоросных и охотничьих ресурсов.

Экономическая оценка запасов древостоя учитывает класс бонитета, полноту стояния, запас леса и шкалу рентных надбавок на деловую древесину. На продукцию побочного использования учитываются лишь затраты на их заготовку. При экономической оценке охотохозяйственных ресурсов отторгаемая площадь увеличивается за счёт фактора беспокойства – действующего на расстоянии до 2 км от места проведения работ (буровые, вертолетные площадки, дороги и др.).

К особым условиям, дополнительно повышающим экономическую оценку земель, относится транспортная доступность средозащитная и социальная ценность территории. Учёт особых условий производится на договорной основе между предприятиями и органами местной власти с помощью удорожающих коэффициентов.

Расчёт ущерба, причиненного рыбному хозяйству, производится органами рыбоохраны в соответствии с «Временной методикой оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоёмах», утверждённых Госкомприродой и Минрыбхозом СССР (1990).

В развитие нормативного документа Госкомэкологии «Временный порядок оценки и возмещения вреда окружающей среде в результате аварии» в 1995 году Минтопэнерго РФ разработана и утверждена «Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах».

Анализ современного состояния нормативно-правовой базы регулирования промышленной и экологической безопасности процессов необходим при анализе, оценке и выборе вариантов обеспечения безопасности. Решение указанных задач с приемлемым качеством и разумные сроки требует активной и хорошо скоординированной нормотворческой работы, постановка которой в стране в последнее время подвергается справедливой критике.

Таким образом, существующая система нормативно-правового регулирования имеет ряд недостатков:

- многие законодательные акты носят не прямой характер и нуждаются в подкреплении соответствующими подзаконными актами;
- не в полной мере урегулированы правовые отношения операторов работ с органами власти федерального, регионального и местного уровней;

– существует множество контрольных и надзорных органов и соответственно не согласованных между собой процедур разрешительного характера в области лицензирования различных видов деятельности, экспертизы и т.д.;

– недостаточно проработаны правовые механизмы экономического регулирования промышленной и экологической безопасности.

Экономическое регулирование природоохранной деятельности на нефтедобывающих предприятиях

Недостаток средств и остаточный принцип финансирования природоохранной деятельности в нашем государстве, отсутствие экономических стимулов привели к тому, что в большинстве случаев нефтегазодобывающие предприятия не заинтересованы ни в объективной оценке состояния природоохранной деятельности, ни в проводимых мероприятиях, сроках и объемах реализации средств.

Экономический учёт природоохранной деятельности в России ограничивается только государственной статистической отчётностью о текущих затратах на природоохранную и ресурсосберегающую деятельность, организацию рационального природопользования. В настоящее время не предполагается вносить изменения в систему бухгалтерского учёта, рассчитанных на учёт экологических факторов.

Учёт текущих затрат на охрану природы на предприятиях ведется в основном при помощи выборок из первичных документов, данных оперативного учёта, экспертных оценок и некоторых расчётов. Основная часть этих затрат не отражается в статьях бухгалтерского учёта и отчётности. Поэтому предприятия не могут предоставить достоверные данные о текущих затратах.

Следует заметить, что в своей деятельности природоохранные и экономические службы нефтедобывающих предприятий не придают должного значения экономическому анализу природоохранной деятельности или он вовсе отсутствует. Такое положение объясняется сложившейся в природоохранной деятельности ситуацией. В соответствии с законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» предусмотрены меры по экономическому стимулированию природоохранной деятельности, в том числе:

– установление налоговых или иных льгот при внедрении малоотходных и безотходных технологий и производств;

– освобождение от налогообложения экологических фондов;

– передачи части средств экологических фондов на договорных условиях другим юридическим лицам для реализации мер по гарантированному снижению выбросов и сбросов загрязняющих веществ;

– применение поощрительных цен и надбавок на экологически чистую продукцию;

– введение специального налогообложения для экологически вредной продукции и опасных технологий;

– применение льготного кредитования предприятий, эффективно осуществляющих охрану окружающей природной среды.

Однако в настоящее время единственной реальной льготой является зачёт стоимости мероприятий по охране окружающей среды в счёт платежей за загрязнение, осуществляемое по решениям некоторых субъектов Российской Федерации. Можно с уверенностью утверждать, что в ближайшие годы, в условиях бюджетного дефицита, зачёты затрат предприятий на природоохранные мероприятия в счёт их платежей за загрязнение производиться не будут или будут крайне затруднены. Необходимо также отметить, что и проект нового Налогового Кодекса не содержит каких-либо указаний на возможность применения налоговых льгот по природоохранным мероприятиям.

Поэтому представляется целесообразным при обосновании затрат на природоохранную деятельность исходить из сопоставления произведенных вложений с реальными экономическими результатами.

Если принять общую сумму затрат НГДУ на природоохранные мероприятия, которая в ценах 1998 года составляет миллионы и десятки миллионов рублей, за 100 %, то типичная структура этих расходов для условий Западной Сибири представляется следующим образом:

– плата за потребление водных ресурсов – 0,5 %;

– плата за выбросы в атмосферу от стационарных и передвижных (единиц автотранспорта) источников – 0,30 %;

– плата за пользование земельными ресурсами – 75,0 %;

– затраты на рекультивацию земель – 15,06 %;

- плата за размещение отходов – 0,03 %;
- затраты на рекультивацию амбаров – 8,06 %;
- затраты на ликвидацию аварий – 1,25 %;
- затраты на реализацию научно-технических программ – 0,15 %.

Кроме того, природоохранными организациями ежегодно предъявляются штрафы за ущерб, нанесённый природной среде при авариях, в размерах сопоставимых или превышающих общую сумму расходов НГДУ на природоохранную деятельность.

Из приведенной структуры затрат, включая и суммы расходов на штрафные санкции, видно, что основные экономические расходы направляются не на совершенствование природоохранных технологий и профилактики аварийных ситуаций, а на ликвидацию последствий реальных аварийных разливов нефти. Как отмечает Ю. Одум: «Экономисты не приучены думать о роли биологических систем в экономике, ещё меньше они думают о состоянии этих систем ... Отсутствие экологической осведомленности вносит свой вклад в недостатки экономического анализа и формирование политики».

Однако, приведенные объемы затрат, включая штрафные санкции, определяют также «цену вопроса» – десятки миллионов рублей для каждого НГДУ, и единственную область экономического регулирования в сфере природопользования – решение задач эколого-экономического баланса в рамках хозрасчётного нефтегазодобывающего предприятия, когда выбор организационно-технических, технологических и экологических мероприятий осуществляется и оптимизируется по критерию «затраты эффективность».

Экономические ущербы влекут за собой и социальные потери. Так в США только расходы, связанные с увеличением заболеваемости из-за загрязнения воздуха, составляет около 10 млрд \$/год. В ФРГ ущерб от загрязнения атмосферного воздуха оценивается в 48 млрд марок, воды – в 17,6 млрд марок, почвы – в 5,2 млрд марок.

На величину затрат на природоохранные мероприятия влияют самые разнообразные факторы. Установлено, что выделение на природоохранные мероприятия (в первую очередь, охрану атмосферного воздуха и воды) не менее 2 % ВВП дает возможность замедлить темпы загрязнения природной среды; 6 % от ВВП, направленные на охрану природы, дают возможность стабилизировать состояние природной среды, а при затратах в 8–10 % от ВВП можно ожидать восстановления качества природной среды.

К сожалению, реалии таковы, что в настоящее время продолжается технологическое и экономическое отставание нефтяного производства, и этим затормаживается абсолютно необходимый переход к новому типу сбалансированного природопользования, определяемого концепцией устойчивого развития. Но в то же время, в условиях жёстких финансовых ограничений и нередко не менее жестких ограничений по времени для некоторых регионов одним из важнейших механизмов экологической политики нефтедобывающих предприятий должно стать установление системы эколого-хозяйственных приоритетов, заключающихся:

- во внедрении малоотходных, ресурсосберегающих и природосберегающих технологий;
- в недопустимости экономии за счёт природы и финансирования природоохранной деятельности по остаточному принципу (такая экономия затем оборачивается многократными, а то и неподдающимся учёту потерями);
- в наращивании профилактики и предотвращения отрицательных техногенных воздействий на среду обитания объектами нефтегазового комплекса;
- в необходимости всестороннего учёта перспективы, коррелированной с федеральной и региональной экологической политикой, интересами других природопользователей.

Рекомендации по совершенствованию экологической безопасности на нефтедобывающих предприятиях

До настоящего времени не разработано общепринятых нормативных документов, позволяющих регламентировать деятельность геолого-геофизических организаций в периоды полевых работ по минимизации воздействия на ОС. Поэтому при написании данного раздела воспользуемся тем немногим материалом, который накоплен при проведении геофизических исследований за 40-летний период работ в Тюменской области, а также опытом проведения полевых работ в других районах Сибири и в Арктике.

Применяемые в настоящее время геофизическая аппаратура и оборудование позволяют свести брак полевых материалов до минимума, что, в свою очередь, минимизирует количество перебуриваемых взрывных скважин, лишнее передвижение тяжелой техники и уменьшает негативное воздействие на ОС.

Основанием для проведения геологоразведочных работ, включая геофизические, являются проект работ, прошедший согласование в природоохранных и других компетентных органах, а также договор, заключенный с местной администрацией.

Перед началом работ должно быть изучено фоновое состояние ОС и произведена оценка воздействия на нее предстоящими работами. По этим результатам определяют наименее устойчивые к техногенному воздействию экосистемы, а также оптимальные сроки проведения полевого периода.

В план работ предприятия должна входить реализация следующих мер:

- информирование местной администрации и населения о видах, времени и местах работ;
- определение оптимальной схемы маршрутов облета территории района, высоты полета, чтобы избежать беспокойства животных;
- экологическая подготовка персонала;
- определение способов и методов проведения работ, позволяющих избежать излишней вырубki леса и удаления растительного покрова, передвижения вездеходного транспорта по незащищенной поверхности тундры, замена традиционного транспорта на транспорт с минимальным давлением на грунт;
- выбор места базирования партий с учётом их воздействия на ОС, устойчивости экосистем, их способности к самовосстановлению.

Разработанный проект организации работ должен включать этап пионерного выхода, транспортную схему, указание мест базирования.

В договоре и других документах на проведение геолого-геофизических, геодезических, изыскательских работ обязательно фиксируются сроки проведения работ, размеры платежей за использование земельных участков, обязанности природопользователя по возмещению убытков и приведению земель в состояние, пригодное для их использования по целевому назначению.

Во всех крупных организациях, проводящих геолого-съёмочные, геофизические и геодезические работы, в технических проектах на производство данных работ содержится раздел «Охрана окружающей природной среды» с оценкой воздействия видов работ на природу. В нём рассматриваются следующие направления природоохранной деятельности:

- охрана атмосферного воздуха от загрязнения;
- охрана поверхностных и подземных вод;
- охрана растительного и животного мира;
- нарушение почв, восстановление (рекультивация) земельного участка, использованного под полевой лагерь;
- работа с ГСМ и др.

Охрана атмосферного воздуха от загрязнения подразумевает, прежде всего, оценку выбросов ЗВ от стационарных источников (электростанции, склады ГСМ и электросварочные посты в полевом лагере сейсморазведочной партии) и от передвижных источников (автотранспорт, гусеничный транспорт и буровое оборудование).

Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят передвижные источники, которые в процессе полевых работ рассредоточены на большой удаленности друг от друга. Расчёты уровня загрязнённости атмосферы позволяют утверждать, что при имеющемся количестве техники не образуются долговременные концентрации, превышающие предельные нормативы содержания ЗВ в воздухе с учётом способности рассеивания атмосферой. Мероприятия по уменьшению выбросов ЗВ в атмосферу заключаются в осуществлении контроля и своевременной регулировки двигателей автотракторной техники и других агрегатов. Технические осмотры автомашин и спецтехники проводятся в установленные сроки, содержание СО и других ЗВ должно соответствовать ГОСТу. Заправка ГСМ должна производиться насосами с использованием воронок и поддонов, исключающих попадание ГСМ на почву и их последующее испарение.

Для уменьшения негативного воздействия на растительность при проектировании сейсморазведочной сетки профилей закладывается с учетом уже существующих профи-

лей и трасс, квартальных просек лесоустройства и подъездных путей. При проектировании также должно учитываться возможное обустройство месторождения в будущем. Профили закладываются таким образом, чтобы в дальнейшем их можно было использовать под коридоры коммуникаций, не вырубая для этого дополнительные просеки.

Охрана животного мира направлена главным образом на снижение вероятности браконьерской охоты и уменьшение фактора беспокойства животного мира. Наиболее действенной мерой является запрет на применение охотничьего оружия и других орудий промысла на территории работ. При продвижении бригад, производящих рубку и отработку сейсмопрофилей, происходит постепенное вытеснение животных с территории, подвергающейся воздействию. Однако по мере уменьшения фактора беспокойства увеличивается вероятность возвращения животных и восстановления их прежней численности. Проживание собак в полевом лагере разрешается только с целью охраны материальных ценностей, причем содержать их следует на привязи.

Следует отметить, что прорубка трасс сейсмопрофилей не уменьшает кормовую базу животных, а порой делает её более разнообразной за счет разрастания на трассах поросли лиственных пород и злаков, повышения урожайности ягодниковых кустарничков (черники, брусники). Фактор беспокойства относится в основном к зимнему периоду, при этом он непродолжителен и не вызывает существенной миграции основных охотопромысловых животных.

Нарушение почв, восстановление (рекультивация) земельного участка под полевым лагерем. Применяемые технологии вырубки трасс и последующие геофизические работы в большинстве случаев не оказывают существенного влияния на живой напочвенный покров и поверхность почвы.

Взрывные скважины целесообразно заполнить порубочными остатками после помещения в них заряда для уменьшения выброса грунта при взрыве.

При использовании вибрационных генераторов необходимо принимать меры по максимальному сохранению растительного покрова и минимизации разлива гидравлической жидкости.

Существующая нормативно-техническая база, состоящая из совокупности ранее разработанных нормативно-технических документов (ведомственные регламенты, нормы, правила, отраслевые и государственные стандарты), регулирующих различные аспекты исследовательской, проектной, хозяйственной деятельности, носит довольно бессистемный характер, во многом устарела и нуждается в существенной переработке.

1. Совершенствование экологической безопасности должно основываться на принципах, принятых Государственной системой стандартизации Российской Федерации и международными организациями по стандартизации, при обеспечении необходимой гармонизации и сопоставимости с международными стандартами и стандартами технически развитых зарубежных стран в области охраны природной окружающей среды.

2. Система нормативного обеспечения должна представлять собой совокупность взаимосвязанных документов, принимаемых органами управления предприятием и согласованных со специально уполномоченными государственными органами Российской Федерации в области техники безопасности, пожарной безопасности, охраны труда и окружающей природной среды, для применения на всех этапах проектирования, создания и эксплуатации нефтепромысловых и других объектов промышленной инфраструктуры нефтедобывающего комплекса в целях:

- обеспечения безопасности для жизни и здоровья людей в процессе строительства и эксплуатации промысловых объектов;
- защиты объектов и людей от неблагоприятных воздействий природной среды с учётом риска возникновения чрезвычайных ситуаций;
- охраны природной окружающей среды, обеспечения надежности и качества строительных конструкций и оснований, систем технологического и инженерного оборудования;
- выполнения экологических требований, рационального использования природных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов;
- взаимопонимания при осуществлении всех видов совместной деятельности и устранения технических барьеров в международном сотрудничестве.

3. Система нормативов экологической безопасности должна формироваться как открытая для дальнейшего развития единая система норм, правил и стандартов, а

также других нормативных документов в отрасли или предприятиях, разрабатываемых на общей методической основе и определяющих комплекс организационных, технических и финансовых мер. Организация разработки нормативных документов должна предусматривать порядок согласования проектов документов со всеми специально уполномоченными федеральными или региональными организациями,

4. Развитие нормативного правового регулирования в области промышленной и экологической безопасности требует разработки и принятия нормативных, правовых актов, регулирующих:

- порядок и условия применения технических устройств на опасных производственных объектах;
- организацию производственного контроля за соблюдением требований безопасности;
- взаимодействие процедур экологической экспертизы и экспертизы промышленной безопасности;
- социальные и экономические гарантии безопасности и др.

4. Развитие нормативного правового регулирования в области промышленной и экологической безопасности требует разработки и принятия нормативных правовых актов, регулирующих:

- порядок и условия применения технических устройств на опасных производственных объектах;
- организацию производственного контроля за соблюдением требований безопасности;
- взаимодействие процедур экологической экспертизы и экспертизы промышленной безопасности;
- социальные и экономические гарантии безопасности и др.

5. Также необходимо разработать в рамках Системы стандартов безопасности Общие требования по безопасности и охране труда при работах на нефть, приняв их в качестве соответствующего Государственного стандарта.

6. Разработать и ввести в действие Примерный устав предприятий и организаций, производящих работы по разведке и разработке месторождений нефти, установив:

- обязанность операторов по разработке в составе эксплуатационной документации, предъявляемой при сдаче-приемке в эксплуатацию объектов нефтедобычи, уставов для этих сооружений на основе Примерного устава;
- обязательность требований Устава сооружения для всех работников, временно или постоянно находящихся на сооружениях, связанных с разведкой и разработкой месторождений нефти.

Заключение

1. Проведенный анализ техногенеза, процессов и объектов нефтедобычи на элементы природной и социальной среды показал, что технологические объекты разработки нефтегазовых месторождений оказывают негативное влияние на все элементы природной среды: атмосферу, гидросферу, почву, растительность и животный мир, социальные условия жизни населения, а основную экологическую опасность представляют аварийные ситуации, связанные с взрывопожаробезопасностью и разливами жидких углеводородов.

2. Анализ экономических условий природоохранной деятельности на нефтегазодобывающих предприятиях определяет единственную область экономического регулирования в сфере природопользования – решение задач эколого-экономического баланса в рамках хозрасчетного нефтегазодобывающего предприятия по критерию «затраты – эффективность».

3. Реализацию эколого-правовых принципов оптимального управления природоохранной деятельностью нефтегазовых предприятий в условиях ограниченности материальных и финансовых ресурсов предлагается осуществлять за счет средств, расходующихся в настоящее время на штрафы природоохранным организациям.

4. Для создания благоприятных условий жизни настоящего и будущих поколений коренного населения, проживающего на территориях нефтегазовых предприятий, разработан и предложен к внедрению комплекс мероприятий по формированию и компенсации изменившихся социально-экономических условий.

5. Также установлено, что современная нормативно-правовая база регулирования природоохранной деятельности на объектах нефтедобычи характеризуется многочисленными пробелами и противоречиями, игнорированием экономических аспектов безопасности при анализе, оценке и выборе вариантов обеспечения безопасности.

6. Анализ экономики природоохранной деятельности на нефтегазодобывающих предприятиях определяет единственную область экономического регулирования в сфере природопользования.

Литература:

1. Байдаков С.Л., Серов Г.П. Правовое обеспечение охраны окружающей среды и экологической безопасности: учебно-практическое пособие. – М. : Анкил, 2003. – 463 с.
2. Боголюбов С.А. Экологическое право : учебник для вузов. – М. : НОРМА-ИНФРА-М, 1998. – 434 с.
3. Бринчук М.М. Экологическое право : учебник. – М. : МПСИ; Воронеж : МОДЭК, 2011. – 623 с.
4. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
5. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
6. Детков С.П., Детков В.П., Астахов В.А. Охрана природы нефтегазовых районов. – М. : Недра, 1994. – 334 с.
7. Ерохин Г.Н., Копылов В.Н., Полищук Ю.М., Токарева О.С. Информационно-космические технологии для экологического анализа воздействий нефтедобычи на природную среду: аналитический обзор / Науч. ред. В.А. Крутиков. – Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2003. – 97 с.
8. Кусов Г.В., Савенок О.В. Нормативно-техническое регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений: сборник нормативных актов и документов для студентов вузов. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2010. – Ч. 1. – 248 с.
9. Кусов Г.В., Савенок О.В. Нормативно-техническое регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений: сборник нормативных актов и документов для студентов вузов. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2010. – Ч. 2. – 218 с.
10. Кусов Г.В., Савенок О.В. Основы недропользования и лицензирования месторождений нефти и газа: методические указания по изучению дисциплины для студентов всех форм обучения направления 131000.62 Нефтегазовое дело. – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2013. – 24 с.
11. Савенок О.В., Яковлев А.Л. Нормативно-техническое регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений: методические указания по изучению дисциплины «Нормативно-техническое регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений» для студентов всех форм обучения и МИППС направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2015. – 36 с.
12. Третьяк А.Я., Савенок О.В., Швец В.В. Охрана труда и техника безопасности при бурении и эксплуатации нефтегазовых скважин : учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2016. – 290 с.
13. Тютенева З.И., Сороцкая Л.Н., Солоненко Л.А., Поварова Л.В., Тлехусеж М.А., Цымбал М.В. Экология : учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений. – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2019. – 127 с.
14. Правовые аспекты экологической безопасности на нефтяных предприятиях [Электронный ресурс]. – URL : http://knowledge.allbest.ru/ecology/2c0b65635a2bc68b4c53b88521216d37_0.html
15. Абдукадирова Ф.Б., Турапова Н. Экологический мониторинг и его задачи // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 25–27.
16. Арифжанова М., Аюпова М., Усманова Г. Некоторые аспекты оценки состояния экологической безопасности нефтегазовых объектов // Булатовские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 92–94.
17. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – С. 39–42.
18. Кочетова Ж.Ю., Кравченко А.А., Верхов С.В. Влияние нефтезагрязнения на почву и способы её рекультивации // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 67–70.

19. Липский В.К., Спиридонок Л.М. Стационарные рубежи удержания разлившейся нефти на реках // Булатовские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 178–182.
20. Озерова Е.В., Кучеренко С.В. Современное состояние нефтегазового комплекса мира и России // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 235–237.
21. Поварова Л.В. Анализ методов очистки нефтесодержащих сточных вод // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 1. – С. 189–205.
22. Поварова Л.В. Экологические риски, связанные с эксплуатацией нефтяных месторождений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 112–122.
23. Поварова Л.В. Рациональное использование производственных сточных вод // Актуальные вопросы охраны окружающей среды: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции (17–19 сентября 2018 года, Белгород). Секция 2. Очистка природных и сточных вод. – Белгород : Издательство Белгородского государственного технологического университета, 2018. – С. 160–167.
24. Поварова Л.В., Кусов Г.В. Нормативно-техническое регулирование экологической безопасности в нефтегазовой отрасли // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 195–216.
25. Поварова Л.В. Анализ применения биотехнологий для очистки различных загрязнений окружающей среды // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 190–206.
26. Поварова Л.В. Влияние нефтяных загрязнений на окружающую среду и определение методов борьбы с ними // Вестник студенческой науки кафедры информационных систем и программирования. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/34.pdf>
27. Сабуров Х.М., Мурадов Б.З., Мухамедгалиев Б.А. Загрязнение окружающей природной среды отходами производства // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 4: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 110–111.
28. Савенок О.В., Савенок Н.Б. Утилизация буровых сточных вод // Труды КубГТУ. Серия: Нефтегазопромысловое дело. – Краснодар : КубГТУ, 2003. – Т. XIX. – Вып. 3. – С. 253–257.
29. Савенок О.В., Поварова Л.В., Березовский Д.А. Перспективы использования физико-химического и математического моделирования для разработки высокоэффективной комплексной технологии очистки и подготовки пластовых вод // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 66–71.
30. Савенок О.В., Поварова Л.В., Приходько М.Г. Факторы, обуславливающие экологическую опасность нефтедобычи // Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи «Экологические проблемы нефтедобычи – 2014» (21–23 октября 2014 года, г. Уфа). – Уфа : изд-во «РИЦ УГНТУ», 2014. – С. 28–32.
31. Талипова Н.З., Жуманова С.Г., Нигматов И. Культура безопасности – важный аргумент для современного стиля жизни населения планеты // Булатовские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 224–226.
32. Третьяк Л.П., Абдуллаев А.А. Оценка риска как перспективное направление для обеспечения безопасности в нефтегазовой промышленности // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 296–298.
33. Чернова К.В. К вопросу о ликвидации разливов нефти и нефтепродукта в процессе освоения арктического шельфа // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5: Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – С. 347–348.

References:

1. Baidakov S.L., Serov G.P. Legal support of environmental protection and ecological safety: practical manual. – M. : Ankil, 2003. – 463 p.
2. Bogolyubov S.A. Environmental law: textbook for higher education institutions. – M. : NORMAL–INFRA–M, 1998. – 434 p.
3. Brinchuk M.M. Environmental law : textbook. – M. : MPLSI; Voronezh : MODEC, 2011. – 623 p.

4. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the construction of oil and gas wells: textbook for university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie–South, 2011. – 603 p.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V. Underground overhaul of the oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
6. Detkov S.P., Detkov V.P., Astakhov V.A. Nature protection of the oil and gas districts. – M. : Nedra, 1994. – 334 p.
7. Yerohin G.N., Kopylov V.N., Polischuk Yu.M., Tokareva O.S. Information and space technologies for the ecological analysis of the oil production impact on the natural environment: analytical review (in Russian) / Editorial Board V.A. Krutikov. – Novosibirsk : GPNTB SB RAS, 2003. – 97 p.
8. Kusov G.V., Savenok O.V. Normative-technical regulation of the oil and gas fields development: collection of normative acts and documents for the students of higher educational institutions. – Krasnodar : Publishing House – South, 2010. – Part 1. – 248 p.
9. Kusov G.V., Savenok O.V. Normative and technical regulation of the oil and gas fields development: collection of normative acts and documents for the students of higher educational institutions. – Krasnodar : Publishing House – South, 2010. – Part 2. – 218 p.
10. Kusov G.V., Savenok O.V. Fundamentals of the subsoil use and licensing of the oil and gas fields : methodical instructions for the study of the discipline for the students of all forms of education in the field of 131000.62 Oil and gas business. – Krasnodar : Kuban State Technical University, 2013. – 24 p.
11. Savenok O.V., Yakovlev A.L. Normative-technical regulation of development of oil and gas fields: methodical instructions on studying the discipline «Normative-technical regulation of development of oil and gas fields» for students of all forms of education and MIPPS direction 21.03.01 «Oil and gas business». – Krasnodar : Publishing House – South, 2015. – 36 p.
12. Tretyak A.Y., Savenok O.V., Shvets V.V. Occupational health and safety during drilling and operation of oil and gas wells : manual. – Novocheerkassk : Lik, 2016. – 290 p.
13. Tyukhteneva Z.I., Sorotskaya L.N., Solonenko L.A., Povarova L.V., Tlekhusezh M.A., Tsymbal M.V. Ecology : teaching aid for students of higher educational institutions. – Krasnodar : Published by Kuban State Technical University, 2019. – 127 p.
14. Legal aspects of environmental safety at oil enterprises [Electronic resource]. – URL : http://knowledge.allbest.ru/ecology/2c0b65635a2bc68b4c53b88521216d37_0.html
15. Abdukadirova F.B., Turapova N. Environmental monitoring and its tasks // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – p. 25–27.
16. Arifzhanova M., Ayupova M., Usmanova G. Some aspects of assessment of the state of environmental safety of oil and gas facilities // Bulatovskie readings : Materials of the I International Scientific Conference (March 31, 2017): in 5 tons: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 92–94.
17. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Environmental problems in the development of the shale hydrocarbon fields // Environmental protection in the oil and gas complex. – 2015. – № 9. – P. 39–42.
18. Kochetova Zh.Yu., Kravchenko A.A., Verkhov S.V. Influence of oil pollution on the soil and methods of its reclamation // Bulatovskie readings. – 2019. – Vol. 4: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 67–70.
19. Lipsky V.K., Spiridonov L.M. Stationary boundaries of oil spill containment on rivers // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International Scientific-Practical Conference (March 31, 2017): in 5 v.: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. – P. 178–182.
20. Ozerova E.V., Kucherenko S.V. Modern state of the oil and gas complex of the world and Russia // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 235–237.
21. Povarova L.V. Analysis of the oily waste water treatment methods // Nauka. Technics. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 1. – P. 189–205.
22. Povarova L.V. Environmental risks associated with oil field development // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 2. – P. 112–122.
23. Povarova L.V. Rational use of industrial wastewater // Topical issues of environmental protection: a collection of reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference (17–19 September 2018, Belgorod). Section 2. Natural and waste water treatment. – Belgorod : Publishing house of Belgorod State Technological University, 2018. – P. 160–167.
24. Povarova L.V., Kusov G.V. Normative and technical regulation of the ecological safety in the oil and gas industry // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 195–216.

25. Povarova L.V. Analysis of the application of the biotechnologies for purification of the various environmental pollution // Science. Technique. Technologies (polytechnic vestnik). – 2019. – № 1. – P. 190–206.

26. Povarova L.V. Influence of oil spills on the environment and determination of methods to combat them // Herald of student science of the Department of information systems and programming. – 2019. – № 01. – URL : <http://vsn.esrae.ru/pdf/2019/01/34.pdf>

27. Saburov H.M., Muradov B.Z., Mukhamedgaliev B.A. Environmental pollution with industrial wastes // Bulatovskie readings. – 2019. – Vol. 4: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 110–111.

28. Savenok O.V., Savenok N.B. Drilling waste water utilization // Proceedings of Kuban State Technical University. Series: Oil and gas field business. – Krasnodar : KubGTU, 2003. – V. XIX. – Issue. 3. – P. 253–257.

29. Savenok O.V., Povarova L.V., Berezovsky D.A. Perspectives of the physicochemical and mathematical modeling application for the development of a highly effective complex technology of formation water treatment and preparation // Ecology and industry of Russia. – 2019. – V. 23. – № 3. – P. 66–71.

30. Savenok O.V., Povarova L.V., Prikhodko M.G. Factors that determine the environmental hazard of oil production // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference with elements of a scientific school for young people «Environmental Problems of Oil Production – 2014» (21–23 October 2014, Ufa). – Ufa : RIC UGNTU Publishing House, 2014. – P. 28–32.

31. Talipova N.Z., Zhumanova S.G., Nigmatov I. Security culture – an important argument for the modern lifestyle of the planet's population // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International Scientific-Practical Conference (March 31, 2017): in 5 volumes: a collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok, Professor. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 4: Design, construction and operation of pipeline transport systems. Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. – P. 224–226.

32. Tretyak L.P., Abdullaev A.A. Risk assessment as a perspective direction for ensuring safety in the oil and gas industry // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in oil and gas industry. – P. 296–298.

33. Chernova K.V. To the issue of oil and oil product spill response in the process of Arctic shelf development // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 5: Chemical technology and ecology in the oil and gas industry. – P. 347–348.

УДК 622.276

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗРАБОТКИ
ТАСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**GEOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE DESIGN
AND ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF DEVELOPMENT
OF THE TASOVSKOYE FIELD**

Трофименко Даниил Дмитриевич

старший геолог,
Управление добычи нефти и газа
цеха добычи нефти и газа № 3
ООО «РН-Пурнефтегаз»
id.yug2016@gmail.com

Trofimenko Daniil Dmitrievich

Senior Geologist,
Oil and Gas Production Department,
Oil and Gas Production Workshop № 3
«RN-Purneftegaz» LLC
id.yug2016@gmail.com

Аннотация. В статье приведено геологическое обоснование для проектирования разработки и анализ текущего состояния разработки Тасовского месторождения, по величине извлекаемых запасов которое относится к очень крупным, по геологическому строению – к сложным. Показано, что геологический разрез представлен песчано-глинистыми отложениями мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, которые подстилаются метаморфизованными породами палеозойского складчатого фундамента. Коллекторами являются мелкозернистые алевритистые песчаники и крупнозернистые алевролиты. По минералогическому составу коллекторы относятся к полимиктовому типу. Основные залежи нефти приурочены к пластам БП₈, БП₁₀₋₁₁ и БП₁₄. Залежи нефти сложнопостроенные, неантиклинальные, литологически экранированные, границами залежей являются линии литологического замещения коллекторов, водоносные и водонефтяные зоны имеют незначительное распространение. Для пластов БП₈, БП₁₀₋₁₁ и БП₁₄ Тасовского месторождения характерны низкие значения фильтрационно-емкостных свойств продуктивных пластов.

Annotation. The article provides a geological rationale for the development design and analysis of the current development status of the Tasovskoye field, which in terms of recoverable reserves is very large, and in terms of geological structure it is complex. It is shown that the geological section is represented by sandy-clay deposits of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover, which are underlain by metamorphosed rocks of the Paleozoic folded basement. Collectors are fine-grained silty sandstones and coarse-grained siltstones. According to the mineralogical composition, the collectors are polymict type. The main oil deposits are confined to the BP₈, BP₁₀₋₁₁ and BP₁₄ reservoirs. Oil deposits are complexly constructed, nonantical, lithologically shielded, the boundaries of the deposits are lines of lithological replacement of reservoirs, aquifers and water-oil zones are insignificant. The BP₈, BP₁₀₋₁₁ and BP₁₄ formations of the Tasovskoye field are characterized by low values of the filtration and capacity properties of the productive formations.

Ключевые слова: геолого-промысловая характеристика месторождения; характеристика геологического строения продуктивных пластов и залежей; анализ текущего состояния разработки; динамика основных показателей добычи; сравнение фактических показателей с проектными; основные проблемы разработки; текущие результаты и стратегия проведения ГТМ.

Keywords: geological and field characteristics of the field; characteristics of the geological structure of reservoirs and deposits; analysis of the current state of development; dynamics of key production indicators; comparison of actual indicators with design; main development problems; current results and strategy for the geological and technical measures.

Географическое расположение

Тасовское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в северной части Западно-Сибирской низменности в междуречье рек Айваседопур и Пякупур. В административном положении оно расположено в 565 км к юго-востоку от г. Салехард на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области Российской Федерации. Ближайшими населенными пунктами являются: районный центр п. Тарко-Сале, расположенный в 45 км севернее месторождения, посёлки Пурпе и город Губкинский соответственно в 40 и 45 км западнее и г. Ноябрьск в 180 км к юго-западу. Месторождение приурочено к Айваседопуровскому куполовидному поднятию Нурминско-Александровского нефтегазоносного пояса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Вблизи посёлков Тарко-Сале и Пурпе проходит железная дорога Тюмень – Новый Уренгой, действующий газопровод Уренгой – Челябинск – Новополюк проходит в 30 км к юго-западу от Тасовского месторождения, а нефтепроводы Самотлор – Куйбышев, Самотлор – Курган – Уфа – Альметьевск и Самотлор – Александровск – Анжеро-Судженск в 370 км южнее.

Близлежащими нефтяными месторождениями, запасы которых утверждены в ГКЗ являются: Восточно-Таркосалинское, расположенное в 60 км северо-восточнее, Губкинское и Комсомольское, расположенные соответственно в 50 км и 80 км западнее, Муравленковское и Суторминское, расположенные соответственно в 145 и 155 км юго-западнее от Тасовского месторождения.

В орографическом отношении Тасовское месторождение располагается в междуречье рек Пякупур и Айваседопур, представляющем собой слегка всхолмленную, заболоченную, с многочисленными озёрами равнину с абсолютными отметками рельефа от 33 до 80 м.

Реки Пякупур и Айваседопур являются основными водными артериями изучаемого района, равнинные, спокойные, имеют много притоков, образуют многочисленные отмели и песчаные косы. Средняя скорость течения 0,7 м/с. Судосходны только во время весеннего паводка (июнь). Ледостав начинается в октябре, а в начале декабря лед становится пригодным для безопасного движения гусеничного транспорта.

Сплошные лесные массивы преимущественно из хвойных пород приурочены к поймам рек, а водораздельные пространства заболочены и покрыты тундровой растительностью и лиственным редколесьем. Зелёность территории составляет 40 %.

Сильная заболоченность района связана с развитием вечной мерзлоты, имеющей островной характер и различную глубину залегания. По данным электрокаротажа скважин 50 и 60 нижняя граница ее прослеживается на глубинах 226–256 м. Мерзлота образует водонепроницаемый слой, препятствующий фильтрации поверхностных вод в период сезонного оттаивания и просыхания почвы.

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой и коротким, прохладным и дождливым летом. Самый холодный месяц январь, морозы достигают минус 55 °С. Максимальная температура июля 37 °С. Среднегодовая температура колеблется от минус 7,5 °С до минус 8,5 °С. Наибольшее количество осадков (до 75 %) 375 мм выпадает с апреля по октябрь. Преобладающее направление ветров северное и северо-восточное – в тёплый период, а в холодный – южное и юго-западное. Скорость ветра достигает 30 м/с, при средней скорости 4 м/с. Глубина промерзания грунта от 1,5 до 3,5 м. Средняя толщина снегового покрова достигает на водоразделах 0,8 м, а в пониженных участках рельефа – 2 м.

История освоения месторождения

Тасовское месторождение было открыто в 1967 году скважиной № 1 «Главтюмень-геологии». По отражающему горизонту «Б» поднятие оконтурено изогипсой – 3050 м и имеет площадь 380 км². Фундамент не вскрыт. В пределах месторождения выявлены 16 нефтяных, газоконденсатонефтяная, газоконденсатная и газовая залежи пластово-сводового и литологически экранированного типов. Коллектором служат песчаники с линзовидными прослоями глин.

Основные запасы пресных подземных вод сосредоточены в верхнем гидрогеологическом этаже, сложенном осадками турон-четвертичного возраста. На рассматриваемой территории повсеместно развит атлым-новомихайловский водоносный горизонт, служащий основным источником водоснабжения. По результатам бурения в Тарко-Сале глубина залегания горизонта находится в интервале 50–120 м. Воды напорные, высота напора под кровлей составляет 40–50 м. Дебиты скважин 5,7–19,3 м³/сут. Нижним водоупором служат глинистые породы тавдинской свиты.

В комплекс четвертичных отложений входят песчано-глинистые породы различного генезиса, которые составляют единую толщу, вмещающую несколько типов подземных вод, основные из которых надмерзлотные и воды таликовых зон. Воды безнапорные, дебиты скважин в среднем составляют 4–10 л/с. Общая мощность четвертичного горизонта достигает 40–60 м.

Лицензия на право пользования недрами Тасовского месторождения СЛХ № 01892 НЭ от 08.11.2008 г., выдана ОАО «НК Роснефть» сроком до 31.12.2078 г. Оператором разработки месторождения является ООО «РН-Пурнефтегаз». В Тасовский ЛУ входят залежи пластов ПК₁, АП₈², БП₁, БП₃, БП₅, БП₆, БП₇, БП₈⁰, БП₈, БП₉, БП₁₀₋₁₁, БП₁₄. В северной части пласт БП₁₄ частично захватывает участок Северо-Тасовского месторождения.

В 1986 году Тасовское месторождение введено в промышленную эксплуатацию в соответствии с технологической схемой разработки. С 2008 года разработка месторождения осуществляется на основе проектного документа «Дополнение к технологической схеме разработки Тасовского нефтегазоконденсатного месторождения», утверждённый ЦКР Министерства природных ресурсов РФ (от 25.12.2008 г., протокол № 4496).

Характеристика геологического строения продуктивных пластов и залежей

В тектоническом отношении Тасовское месторождение расположено в пределах Верхне-Пурского крупного вала и контролируется Айваседопуровским крупным куполом и Айваседопуровским куполовидным поднятием. К структурному выступу, осложняющему северо-восточную переклиналь поднятия, приурочено Северо-Тасовское месторождение, имеющее по горизонту БП₁₀₋₁₁ единый контур нефтегазоносности с Тасовским месторождением.

Продуктивные пласты Тасовского месторождения приурочены к терригенным отложениям неокомского возраста. Месторождение является мезозалежным и многопластовым. Залежи газа установлены в пластах ПК₁, БП₁₀⁰, залежи нефти – в пластах БП₁, БП₃, БП₆, БП₇, БП₈⁰, БП₈, БП₉, залежи пластов БП₁₀¹, БП₁₀², БП₁₁¹ содержат газовые шапки. На Восточно-Тасовском месторождении нефтеносен пласт БП₁₄.

В пласте ПК₁ газонасыщенная толщина варьируется в пределах 2,6–28,2 м, залежь массивная, размеры 12×10 км, высота 42 м.

Пласт АП₈² водоплавающий, площадь залежи 3758 тыс. м², нефтенасыщенная толщина 2,75 м. ВНК принят на отметке 2018 м.

В пласте БП₁ выделено два самостоятельных объекта – БП₁¹ и БП₁². Нефтяная залежь БП₁¹ водоплавающая, пластово-сводовая, размеры 1,2×0,9 км, высота 7 м.

Пласт БП₃ водоплавающий, площадь залежи пласта 6537 тыс. м², толщина 4,8 м. ВНК принят на отметке 2258–2260 м.

Пласт БП₅ водоплавающий, площадь залежи 6451 тыс. м², нефтенасыщенная толщина 1,4 м. ВНК принят на отметке 2306 м.

В пласте БП₆ выделено 3 нефтяных залежи. Залежи приурочены к литологически изменчивым по разрезу и по площади тонкослоистым породам толщиной 0,4–10,2 м. Северная залежь пластово-сводовая, размеры 4,5×4 км, высота 27 м. Южная залежь пластово-сводовая, размеры 2,2×3,2 км, высота 35 м. Залежь в районе скважины № 30^P водоплавающая, размеры 2,2×1,2 км, высота 9 м, нефтенасыщенная толщина колеблется в пределах 0,4–7,2 м.

В пласте БП₇ выделено две нефтяных залежи – БП₇¹ и БП₇². Залежь БП₇¹ пластово-сводовая, осложнена тектоническим и литологическим экранами, размеры 10,5×5,5 км, высота 26 м. Залежь БП₇² пластово-сводовая и литологически экранированная, размеры 6,5×2,5 км, высота 30 м.

Залежь пласта БП₈⁰ пластово-сводовая, литологически и тектонически экранированная, размеры 7,5×3 км, высота 26 м. Нефтенасыщенные толщины варьируют в пределах 0,6–100 м.

Пласт БП₈ состоит из двух залежей: верхней – песчаной (БП₈^g) и нижней – песчано-глинистой БП₈^h, являющихся единым гидродинамическим резервуаром. Пласт БП₈^g изменяется толщинами в интервале 1,4–25,0 м. Залежь пластовая сводовая, размеры (8–12)×14 км, высота 50 м. Залежь БП₈^h пластовая сводовая, размеры (5–9)×11 км, высота 20 м.

Пласт БП₉ водоплавающий, размеры (4–9)×11,5 км, высота 29 м. Нефтенасыщенные толщины изменяются в пределах 0,4–25,1 м.

Пласт БП₁₀⁰ содержит газоконденсатную залежь, газонасыщенные толщины изменяются в интервале 0,4–10,1 м.

В разрезе горизонта БП₁₀₋₁₁ выделено 4 самостоятельных объекта разработки БП₁₀¹, БП₁₀², БП₁₁¹, БП₁₁².

Пласт БП₁₀¹ нефтегазоносен на пяти литологически разобъённых участках, суммарные газонасыщенные толщины изменяются в интервале 0,6–8,4 м, нефтенасыщенные 0,6–7,9 м. Размеры основной залежи – 16×18 км, высота 97 м.

В пласте БП₁₀² газонасыщенная толщина изменяется в пределах 0,6–12,6 м, нефтенасыщенная – 1,0–18,8 м, размеры 16×18 км, высота 93 м.

В пласте БП₁₁¹ суммарные газонасыщенные толщины изменяются в пределах 1,4–5,2 м, нефтенасыщенные 0,4–9,8 м, размеры 13×15 км, высота 61 м.

Пласт БП₁₁² имеет нефтенасыщенные толщины в пределах 0,8–12,4 м, размеры основной залежи 11×7,5 км, высота 36 м. Размеры залежи в районе скважины № 50р 9×5 км, высота 74 м.

В разрезе горизонта БП₁₄ выделено 6 пластов от БП₁₄¹ до БП₁₄⁶.

Нефтяная залежь пласта БП₁₄¹ структурно-литологическая, размеры 35×9 км, высота 230 м. Общая толщина пласта изменяется от 40–45 м на западе до нуля на востоке. Нефтенасыщенные толщины изменяются от 0,4–20,1 м.

В пласте БП₁₄² залежь – литологически ограниченная, размеры основной залежи 15,5×4 км, высота 130 м, размеры северной залежи 9×5 км, высота 53 м.

Залежь пласта БП₁₄³ имеет размеры 40×8 км, высота 133 м. Общая толщина пласта изменяется от 1,2–20,4 м. Эффективная толщина 14 м. Нефтенасыщенные толщины изменяются от 0,6–14 м.

Размеры залежи пласта БП₁₄⁴ 18×9 км, высота 147 м, эффективные нефтенасыщенные толщины изменяются от 0,6–10 м.

Залежь пласта БП₁₄⁵ имеет размеры (0,3–6,0)×(0,5–3,0) км, высота от 6 до 85 м, нефтенасыщенные толщины пласта варьируют от 0,4–8,8 м.

В пласте БП₁₄⁶ нефтенасыщенные толщины изменяются в диапазоне 0,6–14,3 м. Размеры залежи (0,5–8)×(0,5–2) км, высота от 5–64 м.

Основные залежи – пласты БП₈, БП₉, БП₁₀₋₁₁, БП₁₄ содержат 90 % всех запасов месторождения. Строение залежей (БП₈, БП₉, БП₁₀₋₁₁) пластово-сводовое, БП₁₄ – литологически экранированный. Геологический разрез месторождения приведён на рисунке 1.

По данным палеогеографических реконструкций в период накопления продуктивных отложений (берриасс-валанжин) на рассматриваемой территории преобладал мелководно-морской режим осадконакопления. В неокOME с началом регрессивного этапа крупного седиментационного цикла некомпенсированный режим позднеюрского осадконакопления сменился обстановкой лавинной седиментации с широким развитием речных систем и поступлением значительных объемов обломочного материала в осадочный бассейн. Обширная площадь морского мелководного бассейна обусловила высокую гидродинамическую активность побережья, сопровождавшуюся интенсивным волновым перераспределением поступающего с суши материала и формированием подводной дельтовой платформы. Её фронтальная часть включала систему подводных валов, баров и барьерных островов, ориентированных параллельно береговой линии. Результаты фациального анализа представлены на рисунках 2–4.

Пласт БП₈. Характеризуется двумя электрометрическими типами разрезов соответствующими генетически связанным фациям баров и подводных валов (рис. 2).

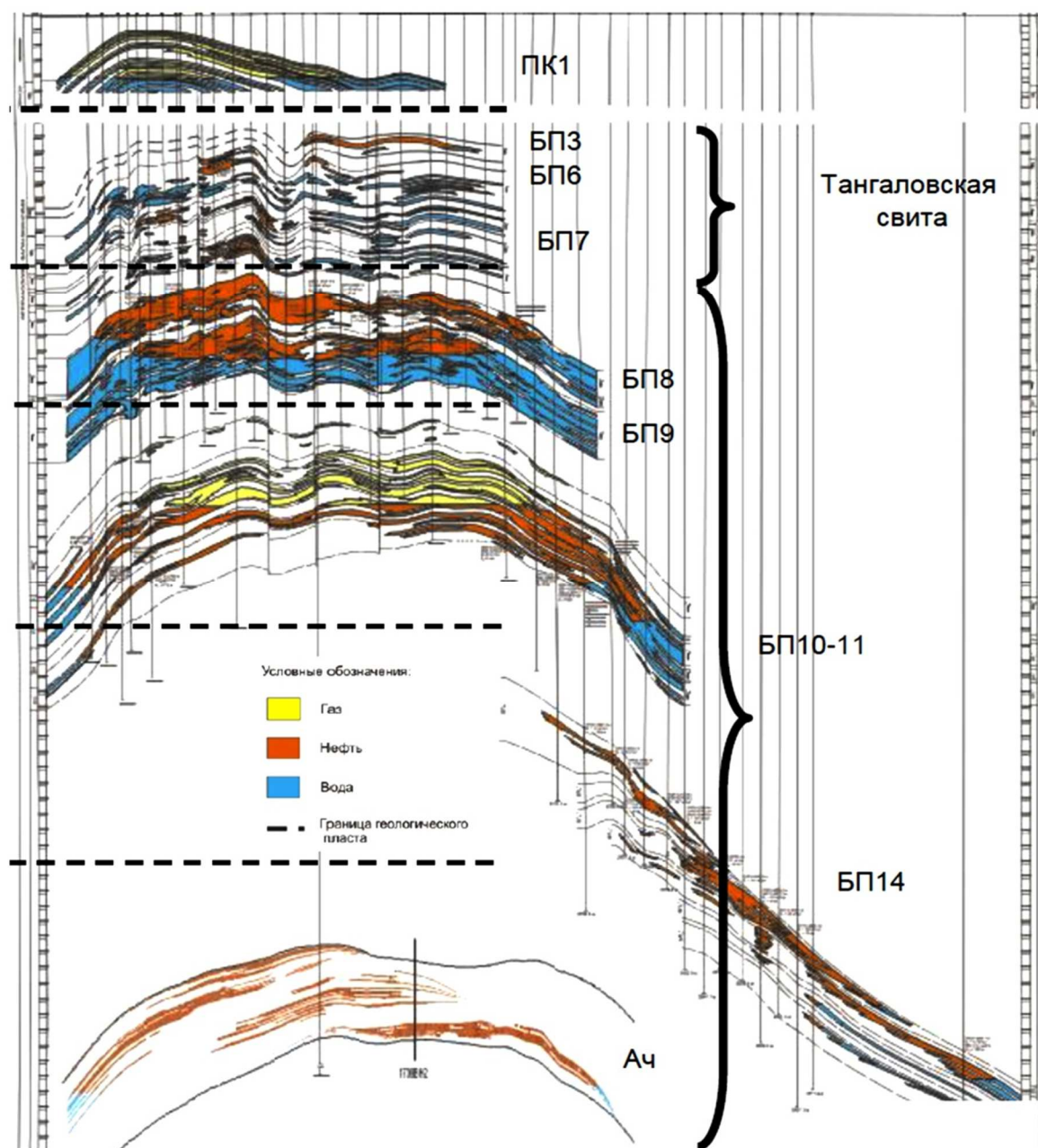


Рисунок 1 – Геологический разрез месторождения (запад-восток)

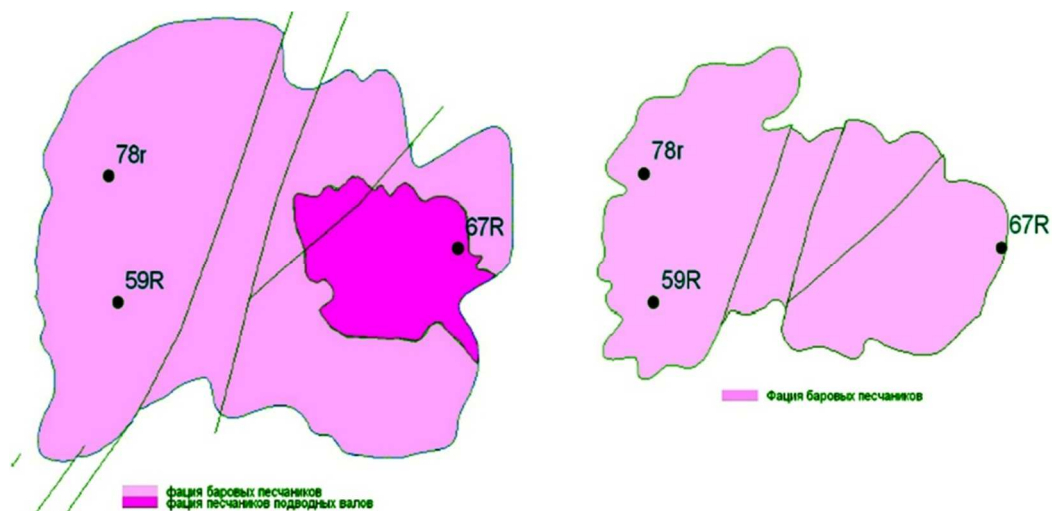


Рисунок 2 – Фациальная структура пласта БП₈ (слева) и БП₉ (справа) с указанием линий разломов

Фация баров составляет основную часть продуктивного пласта. Наиболее выдержанные по литологии и гранулометрическому составу песчаные отложения распространены в западной части продуктивного пласта, представленного здесь монолитным песчаным телом.

К югу и востоку разрез баровых отложений становится менее устойчивым, теряет в мощности и приобретает двучленное строение. Верхняя его часть представлена однородным песчаным телом близким по составу и строению к вышеописанным песчаникам. Нижняя часть разреза сложена переслаиванием мелкозернистых песчаников, алевролитов и глинистых пород. Небольшая мощность песчано-алевролитовых отложений и наличие глинистых прослоев значительно ухудшают фильтрационно-емкостные качества коллекторов в нижней части таких разрезов.

Фация подводных валов занимает небольшую площадь в восточной части продуктивного пласта. Здесь она имеет самостоятельное значение, представлена двумя-четырьмя маломощными пластовыми телами тонкозернистых глинистых песчаников и алевролитов, переслаивающихся с глинистыми прослоями. Из-за увеличения количества глинистых прослоев этот тип фациальных отложений характеризуется ухудшенными коллекторскими свойствами.

Пласт БП₉. Полностью представлен отложениями баровой фации, состоящими из двух песчаных тел, разобщенных на большей части глинистым прослоем (рис. 2).

Отмеченные вертикальные и латеральные вариации строения и состава песчаных отложений определяют наблюдаемую изменчивость промысловых характеристик продуктивного пласта. Максимальные значения эффективных толщин приурочены в основном к западной части пласта, где оба песчаных тела обладают не только повышенной величиной суммарной мощности (в основном за счёт верхнего тела), но и наиболее высокой песчаностью и гранулометрической зрелостью. Породы-коллекторы характеризуются здесь наилучшим качеством. В восточной половине пласта в отдельных разрезах эффективные мощности уменьшаются, а коллекторские свойства ухудшаются благодаря интенсивной глинизации пород верхнего песчаного тела.

Горизонт БП₁₀₋₁₁. Представляет собой песчаный покров, состоящий из фаций вдоль береговых баров и подводных валов, образовавшихся в обстановке регрессирующего морского бассейна. Он включает в себя четыре пластовых тела – БП₁₀¹, БП₁₀², БП₁₁¹ и БП₁₁², кулисно налегающих друг на друга с латеральным смещением в западном направлении в сторону мигрирующего бассейна. В связи с этим для большинства песчаных тел отмечается общий западный тренд в измельчении гранулометрического состава пород и их переход в глинистые отложения фации открытого моря (рис. 3).

Горизонт БП₁₄. Состоит из шести линзовидных и пластовых тел, циклично выдвигающихся на запад и образующих генетически единый комплекс клиноформного строения. Эти отложения маркируют крупный регрессивный цикл развития раннемелового бассейна, сопровождавшийся формированием дельтовых платформ и клиновидных тел бокового наращивания, фиксирующих положение склонов дельты в различные интервалы времени.

Анализ мощностей и сопоставление контуров продуктивных песчаных тел показывают, что осадконакопление происходило в условиях проградирующего дельтового склона с последовательным увеличением мощности и смещением депоцентров в западном направлении. Электрометрические особенности осадочного комплекса позволяют интерпретировать его природу в рамках фациальной модели турбидитной системы. Её отдельные элементы особенно отчетливо выделяются в строении нижних песчаных пластов продуктивного горизонта (рис. 4).

Текущие изменения в представлении по результатам разведки/эксплуатационного бурения

На государственном балансе на 01.01.2018 г. числятся запасы углеводородов в количестве по категориям (геологические / извлекаемые):

нефти:

- по категории ВС₁ – 433403/155651 тыс. тонн;
- по категории С₂ – 27374/6436 тыс. тонн;

газоконденсата:

- по категории ВС₁ – 7807/4474 тыс. тонн;
- по категории С₂ – 645/370 тыс. тонн;

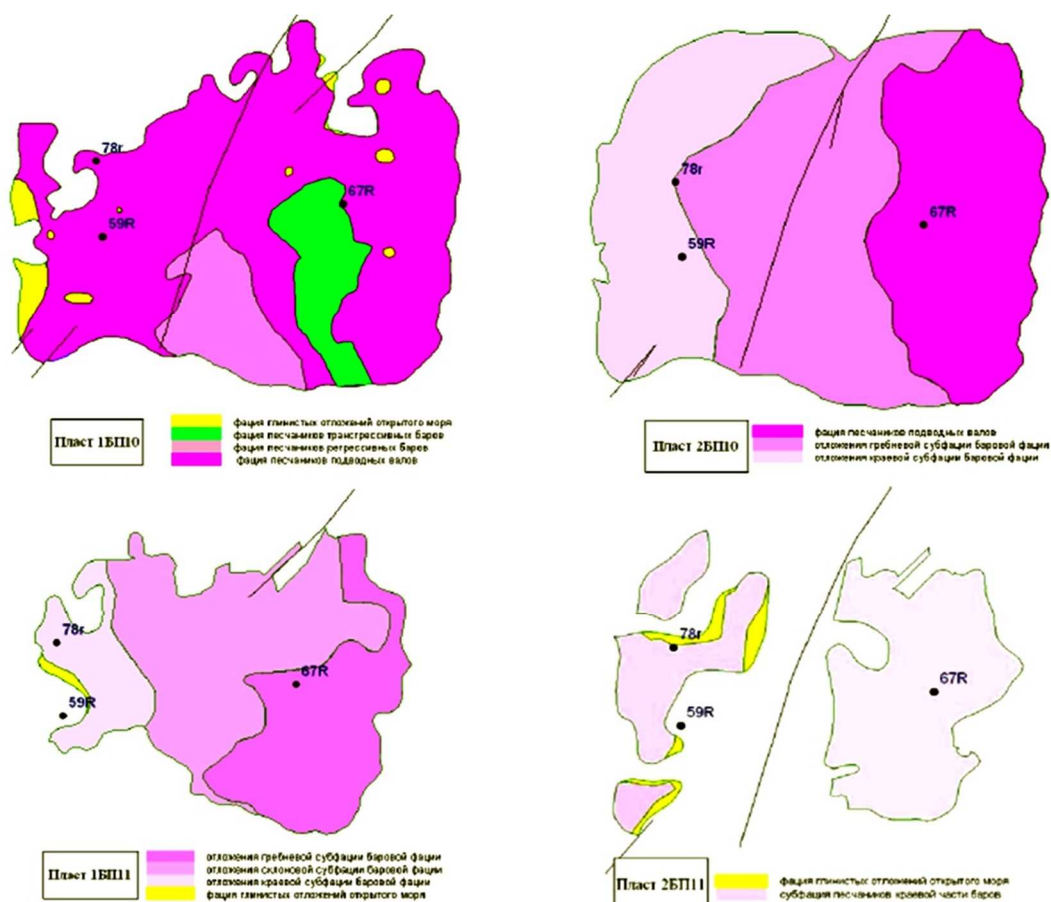


Рисунок 3 – Фациальная структура пласта БП₁₀₋₁₁ с указанием линий разломов

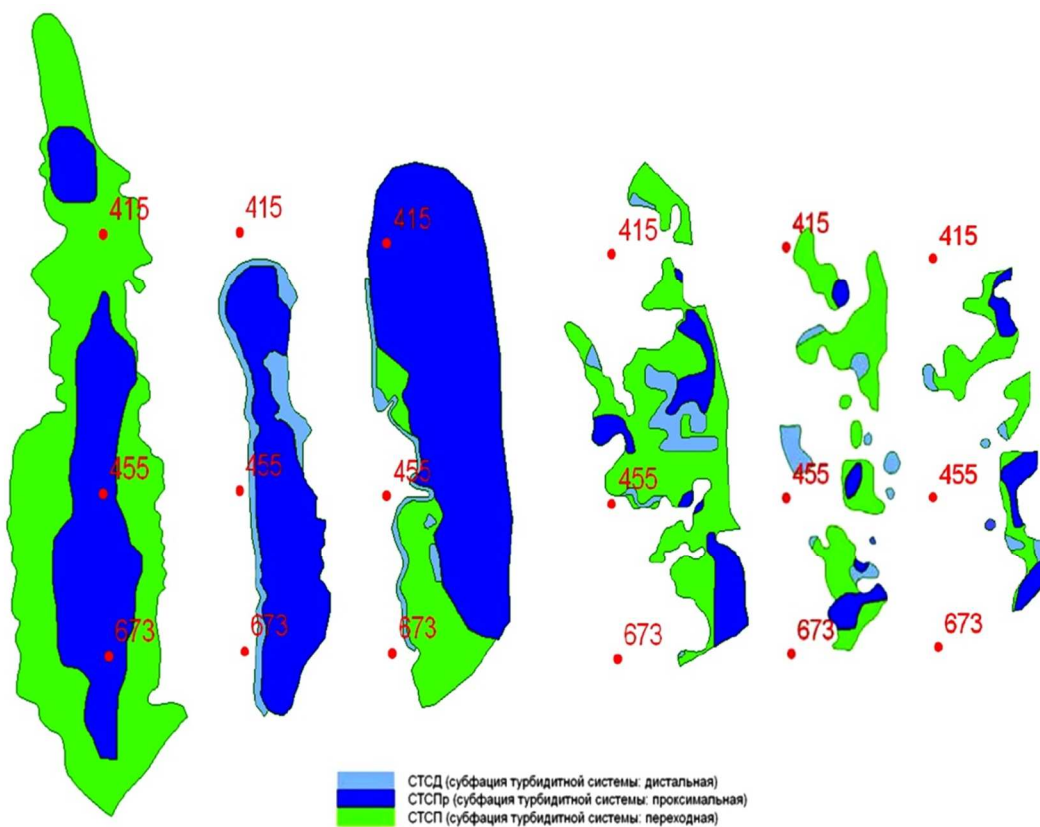


Рисунок 4 – Фациальная структура пласта БП₁₄ по пропласткам БП₁₄¹, БП₁₄², БП₁₄³, БП₁₄⁴, БП₁₄⁵ и БП₁₄⁶ (слева направо)

газовая шапка:

- по категории BC_1 – 20123/0 млн m^3 ;
- по категории C_2 – 16/0 млн m^3 ;

свободного газа:

- по категории BC_1 – 18628/0 млн m^3 ;
- по категории C_2 – 2089/0 млн m^3 .

Утверждённые величины КИН по категории BC_1 – 0,353, категории C_2 – 0,240. Прирост геологических запасов нефти по категории BC_1 составил 5093 тыс. тонн, C_2 – 1142 тыс. тонн. Изменение запасов по сравнению с последним пересчётом запасов (2011 г.) произошло за счёт открытия залежи нефти пласта БП₃, БП₅, БП₈² и за счёт расширения контура нефтеносности пласта БП₁.

При создании геологической модели проанализированы исходные данные по скважинам, данные сейсмических исследований. Причиной незначительных изменений запасов стали переинтерпретация материалов ГИС и уточнения PVT свойств флюидов. В результате начальные геологические запасы нефти пласта БП₁₄ составили 156091 тыс. тонн (прирост 3888 тыс. тонн; 2,55 %); пласта БП₁₀₋₁₁ – 171535 тыс. тонн (прирост 3891 тыс. тонн; 9,3 %); пласта БП₈ – 83278 тыс. тонн (уменьшение на 3565 тыс. тонн; 4,11 %); пласта БП₉ – 38064 тыс. тонн (уменьшение на 882 тыс. тонн; 2,32 %).

Физико-химическая характеристика пластовой нефти

На 01.01.2018 г. в продуктивных пластах Тасовского месторождения были отобраны 86 глубинных проб нефти. В том числе: в пласте БП₁₄ 57 глубинных проб нефти (после ступенчатой сепарации учтены 25 проб в 9 скважинах); в пласте БП₈ (12скв.) глубинных (после ступенчатой сепарации учтены 22 пробы в 10 скважинах). В залежи пласта БП₈ отбирались 3 глубинные пробы.

Повышение вязкости обусловлено не выработкой нефти в залежи пласта БП₁₄, а содержанием и составом твердых парафинов – 5,17 %, с температурой плавления 58 °С. Высокое значение температуры плавления парафина указывает на содержание в нефти метановых УВ с длинной углеводородной цепью, которые увеличивают вязкость нефти. Цикланы и арены понижают температуру плавления парафина.

Подсчётные параметры нефти приняты по результатам исследования глубинных проб пластовых флюидов способом ступенчатой сепарации в специализированных лабораториях «КогалымНИПИнефть», «ЮганскНИПИ», Геоэкология, МНП «ГЕОДАТА».

В институте «КогалымНИПИнефть» были использованы термобарические условия на 3 ступенях сепарации: I ступень – 0,79 МПа; II ступень – 0,34 МПа; III ступень – 0,103 МПа при температуре 20 °С на ступенях.

Условия ступенчатой сепарации пластовых флюидов разные, но главное в рабочих условиях – это свести до минимума вынос с растворённым газом лёгких фракций нефти (C_{7+}), что необходимо для подсчёта запасов нефти и увеличения извлекаемых запасов.

Экспериментальные исследования глубинных проб нефти способом ступенчатой сепарации показали более корректное разгазирование пластовых флюидов. После ступенчатой сепарации нефти глубинных проб из залежей пластов БП₁₀₋₁₁ и БП₁₄ в выделенном газе (смеси) уменьшилось содержание гексанов и высших углеводородов на 0,48 % и 0,62 % соответственно. В таблице 1 представлены физико-химические свойства флюидов

Таблица 1 – Физико-химические свойства флюидов

Физико-химические свойства флюидов									
параметры	пласты	БП ₁	БП ₃	БП ₆	БП ₇	БП ₈	БП ₉	БП ₁₀₋₁₁	БП ₁₄
Начальное пластовое давление, МПа		21,5	22,1	23,0	23,4	24,6	24,8	26,2	28,2
Плотность нефти в пластовых условиях, т/м ³		0,66	0,62	0,66	0,66	0,66	0,68	0,67	0,67
Давление насыщения, МПа			17,6		17,6	18,9	17,8	26,2	18
Газосодержание, м ³ /т		215	154	215	215	208	168	197	188
Объёмный коэффициент нефти		1,56	1,37	1,66	1,15	1,52	1,42	2,03	1,49
Вязкость нефти в пластовых условиях, мПа·с		0,46	0,6	0,46	0,46	0,46	0,52	0,26	0,45
Содержание парафинов в нефти, %		4,24	4,24	4,22	4,22	4,02	3,04	2,82	2,64
Содержание серы в нефти, %			0,3	0,3	0,15	0,18	0,19	0,17	0,2

Свойства и состав пластовых вод

Тасовское месторождение расположено в северо-западной части Западно-Сибирского артезианского мегабассейна, являющегося мощной гидродинамической системой. В ней выделяются нижний и верхний гидрогеологические этажи, согласно гидрогеологической стратификации, они разделяются толщей мощностью до 850 м водоупорных глин турон-нижнеолигоценового возраста.

Нижний гидрогеологический этаж по литологическим, геохимическим и гидродинамическим особенностям подразделяется на следующие водоносные комплексы: юрско-палеозойский, неокомский и апт-альб-сеноманский.

В процессе испытаний поисково-разведочных скважин на Тасовском месторождении притоки воды были получены в 16 скважинах в 23 объектах, из них юрских – 5 объектов, неокомских – 15, апт-альб-сеноманских – 3 объекта. Анализами химического состава и физических свойств пластовых вод на исследуемой территории охарактеризован только неокомский водоносный комплекс в объеме 12 проб, поэтому характеристика гидрогеологических условий данного участка работ приводится с привлечением имеющихся данных по всему Тасовскому месторождению и соседним площадям.

Воды имеют минерализацию порядка 15–20 г/л. Состав вод хлоридный натриевый, тип (по В.А. Сулину) – хлоркальциевый. Содержание ионов натрия и калия, в среднем, 4–6 г/л, хлора – 8–11 г/л, кальция – 0,1–0,3 г/л, гидрокарбонат-иона – 0,3–0,5 г/л. Газонасыщенность вод порядка 0,9–1,4 л/л, состав газа преимущественно метановый (СН₄ – до 98 %, гомологов менее 1–2 %) с незначительным количеством азота (менее 10 %) и углекислого газа (менее 1 %).

В целом на Тасовском месторождении произведено около 130 замеров температуры по 66 поисково-разведочным скважинам в интервале глубин 2200–3100 м. Средние значения температуры продуктивных горизонтов, согласно расчётам, для пластов группы БП₁₄ от 70 °С до 74 °С.

Структура запасов

Распределение начальных геологических запасов нефти, по отдельным пластам и месторождениям по отношению к суммарным запасам Тасовского месторождения по категориям ВС₁ и С₂ (табл. 2).

Таблица 2 – Структура запасов

Пласт	Начальные геологические запасы нефти					
	ВС ₁		С ₂		ВС ₁ + С ₂	
	тыс. тонн	%	тыс. тонн	%	тыс. тонн	%
АП ₈ ²	1128	0,2	0	0	1128	0,2
БП ₁	2120	0,5	0	0	2120	0,5
БП ₃	1782	0,4	0	0	1782	0,4
БП ₅	577	0,1	0	0	577	0,1
БП ₆	3604	0,8	385	0,1	3989	0,9
БП ₇	1667	0,4	1398	0,3	3065	0,7
БП ₈ ⁰	2941	0,6	237	0,1	3178	0,7
БП ₈	86843	18,8	0	0	86843	18,8
БП ₉	38064	8,3	0	0	38064	8,3
БП ₁₀₋₁₁	159244	34,6	8206	1,8	167450	36,3
БП ₁₄	135433	29,4	17148	3,7	152581	33,1
Итого по месторождению	433403	94,1	27374	5,9	433403	100

Динамика основных показателей добычи

На 01.01.2018 г. по Тасовскому и Восточно-Тасовскому месторождениям пробурены 1517 скважин, в т.ч. 1420 добывающих, 88 нагнетательных, 5 газовых и 4 водозаборных. Разбуренность месторождения составляет 97,5 %. Сверх проекта пробурены

190 скважин. В эксплуатационном добывающем фонде числится 518 скважин (508 – дающие продукцию, 10 – в бездействующем фонде). В нагнетательном фонде всего 229 скважины (218 – под закачкой, 11 скважин в освоении после бурения). С начала разработки месторождения в эксплуатационном добывающем фонде побывали 1411 скважин, в нагнетательном – 406 скважин.

В неэксплуатационном фонде 698 скважин, в т.ч. 555 в консервации, 81 пьезометрических, 52 в ожидании ликвидации, 5 ликвидированных, 5 контрольных. Под добычу газа и газоконденсата переведены 35 скважин.

Динамика отбора нефти по месторождению определяется условиями разработки объекта БП₁₄, обеспечившего основную добычу нефти. Из пласта БП₁₄ добыто 26803 тыс. тонн или 42,7 % всей добычи месторождения.

Из пластов БП₁₀₋₁₁, БП₉ и БП₈ добыто 15491; 4292 и 15689 тыс. тонн соответственно, что составляет 24,7 %; 7 % и 25,0 % от общей добычи. Из второстепенных пластов отобрано 427 тыс. тонн или 0,9 % от общей добычи.

С целью поддержания пластового давления с 1987 года была организована закачка воды. Накопленная компенсация отбора закачкой на 01.01.2017 г. составила 140,0 %, текущая – 156,0 %. Текущее пластовое давление по пласту БП₁₄ и БП₈ соответственно – 28,9 и 25,2 МПа, по пласту БП₁₀₋₁₁ – 27,0 МПа, по БП₉ – 24,5 МПа. Текущий водонефтяной фактор по месторождению – 2,67 тонн/тонн, накопленный – 0,58 тонн/тонн.

Сравнение фактических показателей с проектными

Сопоставление основных проектных и фактических показателей разработки за 2018 год по месторождению представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сопоставление проектных и фактических показателей разработки пласта БП₁₄

Показатели разработки	Проект на 01.01.2018	Факт на 01.01.2018
Проектный документ	ТСП Тасовского месторождения	
Режим разработки	водонапорный	водонапорный
Система разработки	обращённая девятиточечная, рядная	обращённая девятиточечная, рядная
КИН конечный / текущий, доли ед.	0,349 / 0,165	0,349 / 0,118
Плотность сетки, га/скв.	44	44
Кратность запасов АВС ₁ + С ₂ , лет	99	127
Текущий отбор от НИЗ АВС ₁ , %	41,5	39,2
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	72040	71702
Добыча нефти 2016/2017/2018, тыс. тонн/год	1026 / 626 / 743	798 / 600 / 691
Добыча жидкости, тыс. м ³ /год – 2017 год	8003	5152
Добыча газа, млн м ³ /год – 2017 год	1250	1232
Закачка воды в год, тыс. м ³	5152	5152
Компенсация (накопленная/текущая), %	100/81	99/86
Средний дебит нефти, тонн/сут.	7,6	6,2
Средний дебит жидкости, тонн/сут.	59,1	39,9
Средняя обводнённость, %	85	89
Фонд скважин (доб/нагн/эксpl), шт.	392 / 204 / 596	362 / 169 / 531
Соотношение фонда (доб/нагн), доли ед.	1,9	2,1
Доля бездействующего фонда, %	10	15
Доля действующего фонда с ГРП, %	28	30
Ввод новых скважин, 2016/2017//2018, шт.	60/62/59	2/14/25
Способы эксплуатации	ЭЦН	ЭЦН
Степень утилизации ПНГ, %	95	95

Фактическая годовая (2018 г.) добыча нефти по пласту ниже проектной на 7 %. Снижение уровня на 37 тыс. тонн обусловлено фактически меньшим количеством действующих добывающих скважин, на 5 тыс. тонн обусловлено фактически более высокой обводненностью продукции и на 10 тыс. тонн более низким фактическим дебитом жидкости.

Фактическая годовая добыча жидкости составила 93 % от проектного уровня, что объясняется недостижением проектного дебита жидкости.

Накопленная добыча нефти отличается от проектной на 0,5 %.

Закачка воды соответствует проектной величине. Действующий фонд нагнетательных скважин составляет фактически 83 % от проектного: 169 скважин – по факту и 204 – по проекту.

Таким образом, темп отбора, сложившийся на 01.01.2018 г., структура нефтяного фонда и нагнетательного фонда не в состоянии поддерживать проектный уровень добычи нефти.

Энергетическое состояние пласта БП₁₄

С начала разработки Тасовского месторождения из продуктивных пластов отобрано 99,6 млн тонн жидкости. С целью поддержания пластового давления в пласты закачано 211,9 млн м³ воды. Накопленная компенсация отбора закачкой составила в целом по месторождению 140,1 %. По пластам, разрабатываемым с поддержанием пластового давления, изменение текущей компенсации отборов в процессе мероприятий по регулированию разработки определяло изменение пластового давления по залежам во время их эксплуатации, динамика давления определялась различием геолого-физических характеристик пластов и особенностей их разработки.

Контроль пластового и забойного давления осуществляется путём замеров статического и динамического уровней жидкости в скважинах, на основании которых рассчитываются значения забойного и пластового давления. По этим данным строятся карты изобар и рассчитываются средние величины пластового давления по пласту, а также в зонах закачки и отбора.

Пласт БП₁₄. По пласту создана 9 точечная площадная система ППД с переходом в рядную в зонах с уплотняющим бурением. Начальное пластовое давление 28,2 МПа. Разработка пласта ведется с 1986 г. Закачка воды с целью поддержания пластового давления проводится с 1986 г. По состоянию на 01.01.2018 среднее пластовое давление в контуре нефтеносности 28,9 МПа, что выше начального на 0,7 МПа.

На 01.01.2018 г. под закачкой находились 134 скважины. В 2018 году в пласт БП₁₄ закачано 4451,1 тыс. м³ агента, с начала разработки – 95039 тыс. м³. Текущая компенсация отбора жидкости закачкой составила 295 %, с начала разработки – 156 %. Нагнетательные скважины эксплуатировались со среднесуточной приемистостью 94,9 м³/сут.

Проведённый анализ показывает низкую эффективность системы ППД в восточных ячейках, заключающуюся в низком текущем и прогнозном коэффициенте охвата пласта фильтрацией, причем, главным образом, за счёт низкого охвата по площади. Это обуславливается низкой выдержанностью коллекторов восточной зоны залежи и, как показала практика, низкой эффективностью в этих условиях как площадной девятиточечной системы заводнения (восточная и северо-восточная ячейки), так и линейной (юго-восточная). Недостатком девятиточечной системы является разница в расстоянии от нагнетательных до угловых и боковых скважин, что стимулирует прорывы воды и образование целиков нефти. Неэффективность реализованной линейной системы заводнения для юго-восточной ячейки заключается в том, что ряды нагнетания простираются субширотно, как и в значительной степени песчаные тела нижних, не вовлечённых в разработку, пропластков БП₁₄⁵⁻⁶.

Основные проблемы разработки

Текущее состояние выработки запасов нефти по разрабатываемым основным пластам приведены в таблице 4.

Выработка запасов по пластам неравномерная. По данным ПГИ остаются пропластки не вовлечённые (БП₁₄⁴ – БП₁₄⁶) или слабо вовлечённые в процесс разработки (БП₁₄²). Анализ выработки по зонам пласта БП₁₄ приведён на рисунке 5.

Таблица 4 – Выработка запасов основных пластов разбуренной части (на 01.01.2018 г.)

Пласт	Зона	Категория запасов	Начальные запасы нефти, тыс. тонн		Накопленный отбор нефти, тыс. тонн	Накопленный отбор жидкости, тыс. тонн	Среднегодовая обводнённость, %	Накопленный водо-нефтяной фактор, доли ед.	Текущий КИН, доли ед.
			геологические	извлекаемые					
БП ₈	Н	BC ₁	68794	30751	15274	19781	64,8	0,3	0,222
	ВН	BC ₁	18050	8068	415,8	1698	98,1	3,1	0,023
БП ₉	ВН	В	38064	13665	4292,2	10982	95	1,56	0,113
БП ₁₀₋₁₁	Н	BC ₁	115192	36057	13049	17874	56,2	0,37	0,111
	ВН	BC ₁	25587	8008	904,9	1390	64,7	0,54	0,035
	ГН	BC ₁	18465	5779	1536,8	1891	49,1	0,23	0,08
		C ₂	8206	2363	0	0	0	0	0
БП ₁₄	Н	BC ₁	133334	48261	26803	44165	66,2	0,65	0,201
	ВН	BC ₁	2099	759	0	0	0	0	0
		C ₂	17148	3465	0	0	0	0	0
Месторождение		BC ₁ +C ₂	460777	162087	62840	99585	72,8	0,58	0,137

Всего ТИЗ 20,1 млн, т,
(в т.ч, 12,7 млн,т вовлечено в разработку)

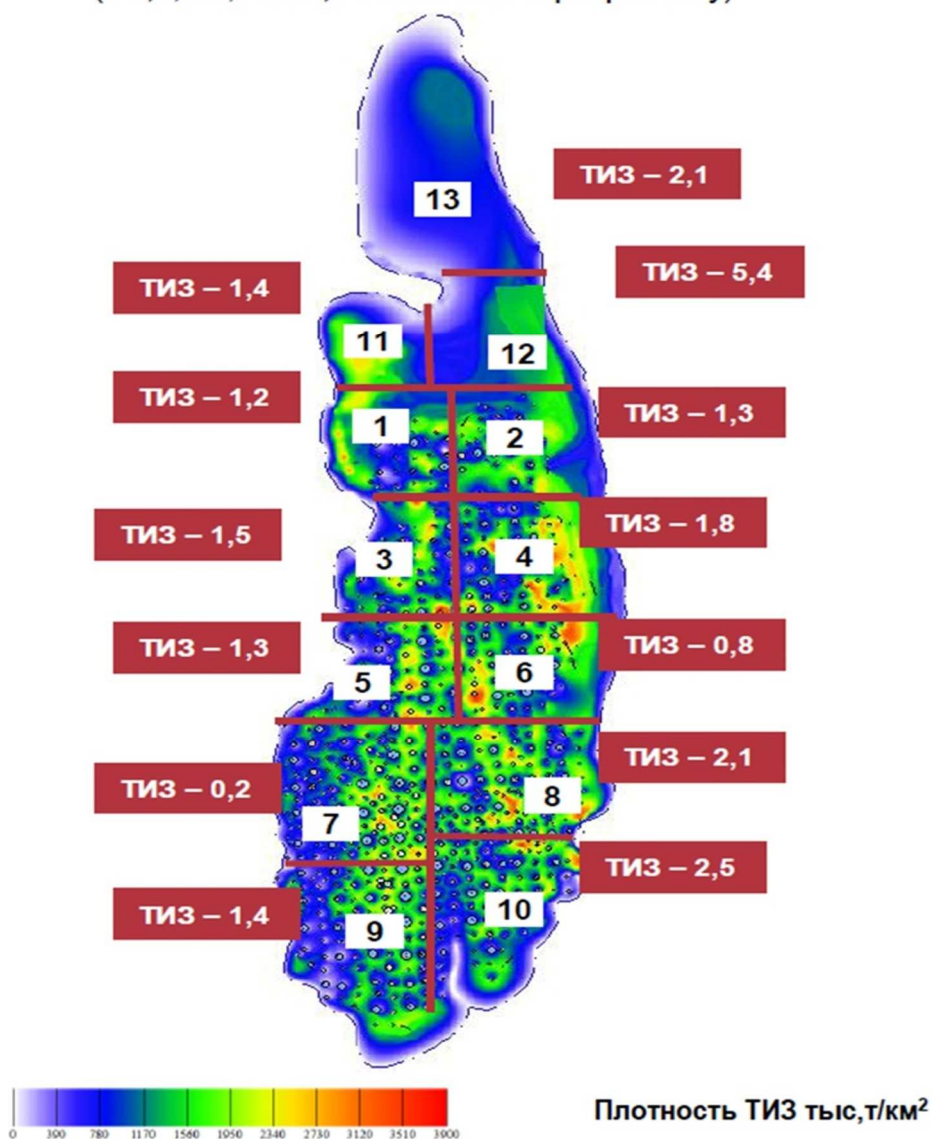


Рисунок 5 – Локализация и характеристика остаточных запасов по пласту БП₁₄

Среди основных проблем разработки можно выделить следующие:

1. Сложное геологическое строение месторождения – БП₁₀₋₁₁ осложнён наличием газовой шапки, пласт БП₁₄ имеет сложное клиноформное строение с высокой расчленённостью и ухудшением коллекторских свойств в восточном направлении залежи.

2. Отсутствие полностью сформированного барьерного ряда заводнения вокруг газонефтяного контакта по пласту БП₁₀₋₁₁ и одновременная добыча газоконденсата из газовой шапки привела к миграции 9 млн тонн нефти в подгазовую зону. Ввиду отсутствия транзитного неперфорированного фонда для определения текущего насыщения пласта по промысловым геофизическим исследованиям, был использован косвенный метод исследования перемещения газонефтяного контакта, основанный на анализе динамики данных газового фактора эксплуатационных скважин пласта. На основании этого факта уточнено положение ГНК относительно начального положения ГНК. Анализ работы действующих газовых скважин пласта в газовой части показывает, что все скважины работают с низкой обводнённостью. Источник воды – ЗКЦ с вышележащих пластов. Таким образом, на основании анализа полученных результатов можно заключить, что происходит стягивание контура ГНК и внедрение нефти в газовую часть пласта. Подъём уровня ГНК в среднем составил порядка 15 м.

3. Высокая обводнённость добываемой продукции пластов БП₈, БП₉, БП₁₀₋₁₁. Причиной высокой обводнённости является наличие большого количества заколонных перетоков в продуктивных горизонтах. По данным ПГИ ЗКЦ наблюдается в 61 % исследованных скважин. Установлено, что почти в половине исследованных нагнетательных скважинах пласта БП₁₀₋₁₁ наблюдается поступление закачиваемой воды по заколонному пространству вверх в газоносные коллекторы БП₁₀¹, БП₁₀², БП₁₀⁰ в количестве 26,9 % от общего объёма закачки. Из них 11,6 % поступает в пласт БП₁₀⁰ и 15,3 % в коллекторы БП₁₀¹, БП₁₀².

4. Сформированная проектная сетка (36 га/скв.) по основным пластам в настоящее время резко отличается от фактической (БП₈ / БП₉ / БП₁₀₋₁₁ / БП₁₄ – 46,4 / 58,9 / 36,0 / 48,5 га/скв.). Выработка идёт избирательно небольшим количеством скважин.

Текущие результаты и стратегия проведения ГТМ

На рисунках 6–8 приведена динамика изменения эффективности проводимых ГТМ (ГРП, ЗБС, ПВЛГ) за период 2014–2017 гг. Самый эффективный вид ГТМ – ГРП.

ГРП осуществляется на месторождении с 1994 года. По состоянию на 01.01.2018 г. на месторождении проведено 643 скважино-операций, из них на 135 скважинах эта операция проводилась повторно, на 23 скважинах – три раза и на 6 скважинах – четыре раза.

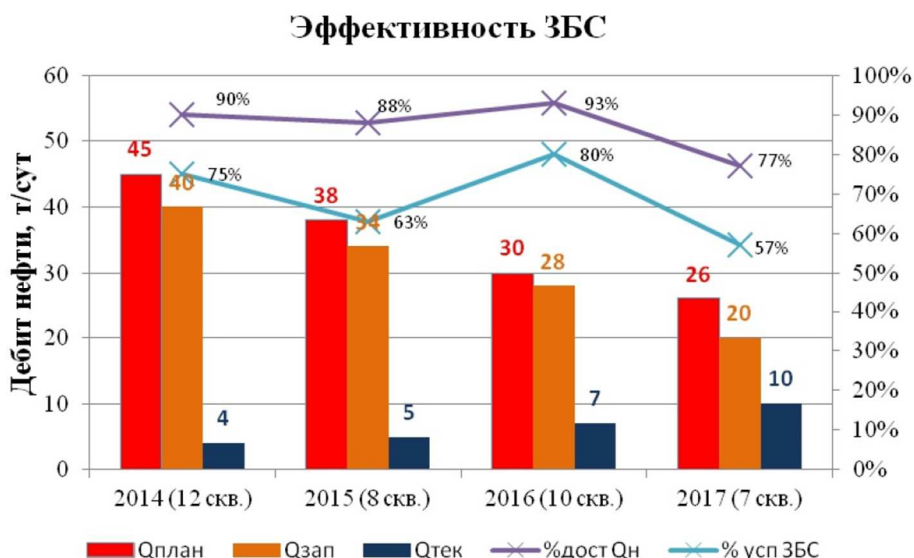


Рисунок 6 – Динамика эффективности проведения ЗБС на Тасовском месторождении

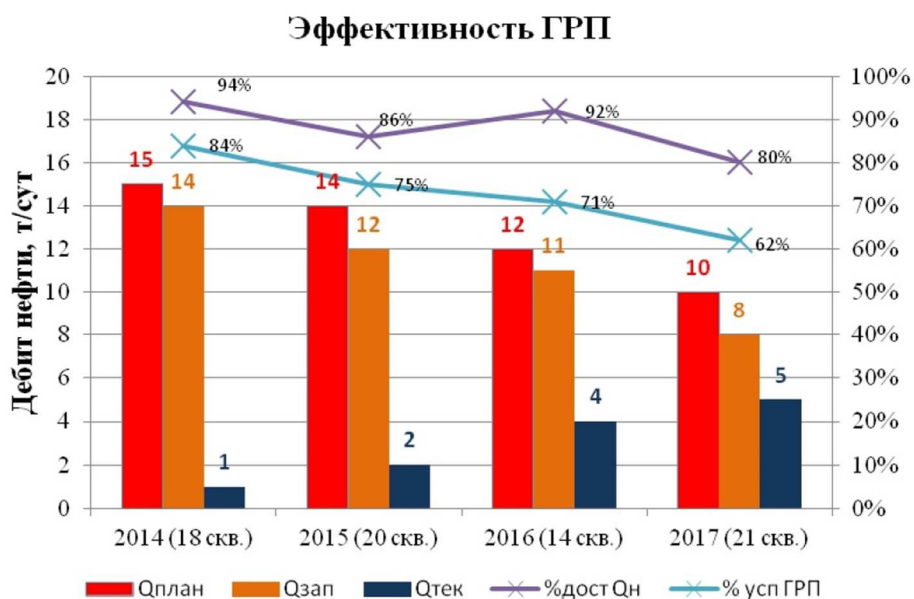


Рисунок 7 – Динамика эффективности проведения ГРП на Тасовском месторождении



Рисунок 8 – Динамика эффективности проведения ПВЛГ на Тасовском месторождении

Применяемые технологии позволили достичь в среднем по всем пластам величины скин-фактора равной минус 3,75. Большинство проведённых операций ГРП были успешными, как с точки зрения кратности приростов дебитов жидкости, нефти, так и с точки зрения снижения темпов обводнения.

Основными проблемами при проведении ГРП на Тасовском месторождении являются: оптимизация дизайна ГРП для низкопроницаемых коллекторов, необходимость обеспечения компенсационных мероприятий при проведении ГРП на нагнетательном фонде (необходимость очагово-избирательного заводнения), повышение эффективности ГРП на переходящем фонде.

Успешность проведения ГРП в целом по месторождению за анализируемый период составила 59,4 %, успешность повторных ГРП выше (70 %). Отмечается снижение удельной эффективности ГРП в период 2015–2018 гг. – с 1,7 до 1,1 (тыс. тонн нефти)/скв., в 2018 году – удельная эффективность ГРП составила 0,9 (тыс. тонн нефти)/скв. Успешность ГРП на переходящем фонде основного объекта БП₁₄ остаётся средней, на уровне 0,9–1,1 тыс. тонн/скв.

На месторождении ГРП является основным способом разработки слабопроницаемого и расчленённого коллектора объекта БП₁₄ – более половины (60 %) операций проведено на данном объекте. Операции ГРП проводились, в основном, на скважинах центральной части пласта. В 2018 году произошло смещение зоны интересов ГРП в

северную часть пласта, с ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами пласта, меньшей выдержанностью и высокой степенью глинистости коллектора. Также в 2018 году были увеличены объёмы материалов, используемых при операциях ГРП по сравнению с предыдущим годом. Так, средняя масса проппанта, закачиваемого в пласт, была увеличена на 16 %, средний объём геля – на 40 %, что приводит к повышению стоимости обработки.

Несмотря на увеличение объёмов закачки, произошло уменьшение средней полудлины трещин ГРП на 15 % при резком росте высоты трещин (на 84 %). Отношение высоты трещины к полудлине по скважинам 2018 года равно 92,5 %, что свидетельствует о росте трещин в высоту и создании практически радиальных трещин. Общая мощность пласта БП₁₄ на скважинах, обработанных в 2018 году, составляет в среднем 16 м. При этом лишь 32 % всей высоты трещины находится в пределах продуктивного пласта.

Анализ результатов проведения операций ГРП на краевых зонах пласта показал, что необходима оптимизация дизайнов с целью ограничения роста трещин в высоту и применение методов искусственного укрепления глинистых перемычек, при этом дальнейшее повышение тоннажа проппанта нецелесообразно.

Выводы

1. Тасовское месторождение находится на поздней, четвёртой стадии разработки и характеризуется такими проблемами, как сложное геологическое строение, неравномерная выработка запасов, миграция запасов нефти в подгазовую зону, высокая обводнённость продукции.

2. Эксплуатационный добывающий фонд составляет 362 скважин, нагнетательный фонд 169 скважин.

3. Тасовское месторождение по величине извлекаемых запасов относится к очень крупным. Начальные извлекаемые запасы составляют 155,7 млн тонн.

4. В период с 2014 по 2018 гг. наблюдается снижение эффективности всех видов ГТМ, а именно: ЗБС, ПВЛГ и ГРП. На данный момент самым эффективным мероприятием является гидроразрыв пласта.

5. По пласту БП₁₄ создана 9-точечная площадная система ППД с переходом в рядную, текущее пластовое давление составляет 28,9 МПа, что на 0,7 МПа выше начального.

6. Проектный текущий КИН равен 0,165, текущий фактический КИН равен 0,118.

7. Текущие методы разработки месторождения не позволяют достичь проектного КИН, поэтому предлагается оптимизация процесса ГРП как на действующих скважинах, так и на новых.

Литература:

1. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.

2. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.

3. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013 – 2014. – Т. 1–4.

4. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.

5. Гнездов А.В. Повышение эффективности разработки месторождений на основе системно-ориентированных гидроразрывов пласта : дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар : КубГТУ, 2010. – 119 с.

6. Ильина Г.Ф., Алтунина Л.К. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири. – Томск : Издательство ТПУ, 2006. – 166 с.

7. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – М. : Недра, 1999. – 212 с.

8. Меликберов А.С. Теория и практика гидравлического разрыва пласта. – М. : Недра, 1967. – 139 с.

9. Муслимов Р.Х. Современные методы повышения нефтеизвлечения. Проектирование, оптимизация и оценка эффективности : учебное пособие. – Казань : Издательство ФЭН Академии наук РТ, 2005. – 688 с.
10. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
11. Экономидес М., Олайни Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта. Наведение мостов между теорией и практикой. – М. : Петроальянс Сервисис Компани Лимитед, 2004. – 194 с.
12. Бархатов Э.А., Яркеева Н.Р. Эффективность применения многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 10.
13. Желтов Ю.П., Христианович С.А. О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Известия АН СССР. ОТН. – 1955. – Т. 5. – С. 3–41.
14. Куликов Э.В., Залоев П.Д., Лешкович Н.М. Особенности применения ГРП на Приразломном месторождении // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 127–132.
15. Малышев Г.А., Соняч В.П., Сулейма С.А. Состояние и перспективы развития технологии ГРП // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 8. – С. 88–93.
16. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Анализ проведения ГРП на переходящем фонде скважин на Приобском месторождении // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 198–200.
17. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Технологический анализ эффективности применения ГС с ГРП в сравнении с ННС на Приобском месторождении // Булатовские чтения: материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 г.): в 5 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 201–203.
18. Ситников А.Н., Асмандияров Р.Н., Пустовских А.А. Формирование программ геолого-технических мероприятий с помощью цифровой информационной системы «Подбор ГТМ» // Пронефть. – 2017. – № 2. – С. 39–46.
19. Трофименко Д.Д., Савенок О.В., Арутюнян А.С. Применение гидроразрыва пласта в низкопроницаемых коллекторах Тасовского месторождения и способ повышения его эффективности // Инженер-нефтяник. – 2019. – № 4.

References:

1. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Y., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in construction of oil and gas wells: textbook for university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie–South, 2011. – 603 p.
2. Bulatov A.I., Savenok O.V. Underground overhaul of the oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on the discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 volumes: manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiyчук R.S. Scientific basis and practice of oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
5. Gnezdov A.V. Increase of the field development efficiency on the basis of the system-oriented hydraulic fracturing of the formation: discs. ... Candidate of Technical Sciences. – Krasnodar : KubGTU, 2010. – 119 p.
6. Ilyina G.F., Altunina L.K. EOR methods and technologies for the West Siberian reservoirs. – Tomsk : TPU Publishing House, 2006. – 166 p.
7. Kanevskaya R.D. Mathematical modeling of the oil and gas fields development with application of the hydraulic fracturing. – M. : Nedra, 1999. – 212 p.
8. Melikberov A.S. Theory and practice of the hydraulic fracturing. – M. : Nedra, 1967. – 139 p.
9. Muslimov R.H. Modern methods of oil recovery increase. Designing, optimization and efficiency evaluation : textbook. – Kazan : FES Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2005. – 688 p.
10. Savenok O.V., Kachmar Yu.D., Yaremiyчук R.S. Oil and gas engineering for well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.

11. Economides M., Olaini R., Valko P. Unified hydraulic fracturing design. Building bridges between theory and practice. – M. : Petroalliance Services Company Limited, 2004. – 194 p.
12. Barkhatov E.A., Yarkeeva N.R. Efficiency of the multi-zone hydraulic fracturing application in the horizontal wells // Izvestiia, Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. – 2017. – V. 328. – № 10.
13. Zheltov Yu.P., Khristianovich S.A. About hydraulic fracturing of an oil-bearing formation // Izvestia of the USSR Academy of Sciences. OTN. – 1955. – V. 5 – P. 3–41.
14. Kulikov E.V., Zaloev P.D., Leshkovich N.M. Features of hydraulic fracturing application at Prirazlomnoye field // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International scientific-practical conference (March 31, 2017): in 5 tons: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 2: Development of oil and gas fields. – P. 127–132.
15. Malyshev G.A., Soniyach V.P., Suleima S.A. State and prospects of the hydraulic fracturing technology development // Oil industry. – 2002. – № 8. – P. 88–93.
16. Pavel'ev O.N., Basov A.O., Pavel'ev Yu.N. Analysis of hydraulic fracturing at the transient well stock at Priobskoye oilfield // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International scientific-practical conference (March 31, 2017): in 5 v.: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok, prof. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 2: Development of oil and gas fields. – P. 198–200.
17. Pavelieva O.N., Basov A.O., Pavelieva Yu.N. Technological analysis of the efficiency of the application of HS with hydraulic fracturing in comparison with the NPS at the Priobskoye field // Bulatovskie readings: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference (March 31, 2017): in 5 tons: collection of articles / Under the editorship of Dr. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – Vol. 2: Development of oil and gas fields. – P. 201–203.
18. Sitnikov A.N., Asmandiarov R.N., Pustovskikh A.A. Formation of the geological and technical measures programs with the help of the digital information system «Selection of GTM» // Proneft. – 2017. – № 2. – P. 39–46.
19. Trofimenko D.D., Savenok O.V., Harutyunyan A.S. Hydrofracturing application in the low-permeability reservoirs of the Tasovskoye oilfield and a way to increase its efficiency // Petroleum engineer. – 2019. – № 4.

УДК 622.276.56

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОВЫРАБОТКИ
ЗАПАСОВ ЗА СЧЁТ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ
ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ДОБЫЧИ И ЗАКАЧКИ
НА ПРИМЕРЕ МИНЕРАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**SUBSTANTIATION OF EFFECTIVE EXTRACTION
OF RESOURCES DUE TO THE IMPLEMENTATION OF
THE TECHNOLOGY OF SIMULTANEOUS-SEPARATE PRODUCTION
AND PUMPING ON THE EXAMPLE OF MINERALS FIELD**

Даценко Елена Николаевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
aldac@mail.ru

Орлова Инна Олеговна

кандидат технических наук,
доцент кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
assoletta77@mail.ru

Авакимян Наталья Николаевна

кандидат технических наук,
доцент кафедры общей математики,
Кубанский государственный
технологический университет
avnatali@mail.ru

Аннотация. Основная цель данной статьи заключается в выработке решений, направленных на оптимизацию существующей системы разработки при применении технологии одновременно-раздельной добычи и закачки на примере Минерального месторождения, предложении и расчёте прогнозных технологических показателей по нескольким вариантам, отличающимся между собой количеством пробуренных скважин. По всем вариантам была произведена оценка экономической составляющей. Расчёты вариантов разработки верхнемеловой залежи произведены с использованием полностью адаптированной гидродинамической модели по трём предложенным вариантам. По итогам технико-экономического анализа рекомендуемым вариантом является вариант 1, т.к. он позволяет достичь утверждённый КИН при положительных экономических показателях. В статье сделан вывод, что применение технологии одновременно-раздельной добычи и закачки ведёт к увеличению NPV, разработка месторождения будет рентабельной при применении данной технологии.

Ключевые слова: характеристика текущего состояния разработки месторождения; анализ выработки запасов; обоснование технологии довыработки запасов месторождения; технологические показатели вариантов разработки; выбор рекомендуемого варианта разработки; технология одновременно-раздельной добычи и закачки; цифровые модели месторождения.

Datsenko Elena Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of oil and gas
engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
aldac@mail.ru

Orlova Inna Olegovna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of oil and gas
engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
assoletta77@mail.ru

Avakimyan Natalya Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of
general mathematicians department,
Kuban state technological university
avnatali@mail.ru

Annotation. The main goal of this article is to develop solutions aimed at optimizing the existing development system when applying technology for simultaneous and separate production and injection using the example of Mineral'noye field, proposing and calculating forecast technological indicators for several options that differ in the number of wells drilled. For all options, an assessment of the economic component was made. The calculation of the development options for the Upper Cretaceous reservoir was made using a fully adapted hydrodynamic model for the three proposed options. According to the results of the feasibility study, the recommended option is option 1, because it allows you to achieve approved oil recovery ratio with positive economic indicators. The article concluded that the use of technology for simultaneous-separate production and injection leads to an increase in NPV, the development of the field will be cost-effective when using this technology.

Keywords: description of the current state of field development; stock development analysis; substantiation of technology for additional development of field reserves; technological indicators of development options; selection of the recommended development option; technology for simultaneous and separate production and injection; digital field models.

Общие сведения о месторождении

В административном отношении Минеральное месторождение расположено в пределах Грозненского и Наурского районов Чеченской Республики. Вблизи месторождения находятся населённые пункты Первомайская, Горячеисточненская, они связаны с месторождением и с г. Грозным гравийной и асфальтовой дорогами (рис. 1).

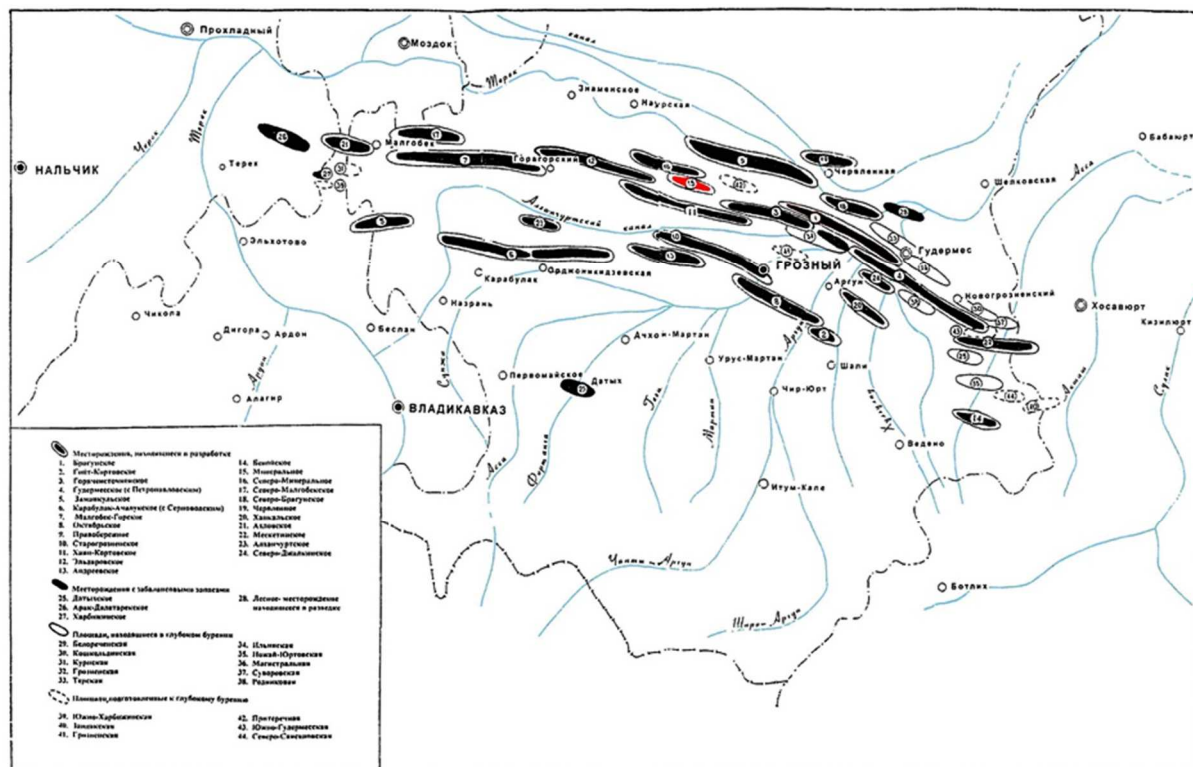


Рисунок 1 – Обзорная схема района работ

Геологическое строение месторождения

В 1965–1967 гг. на основании результатов выполненных сейсмических исследований, с использованием имевшихся на этот период геолого-геофизических материалов, В.Д. Талалаевым, З.С. Воцалевским и др. была составлена структурная карта Передовых хребтов по кровле верхнемеловых отложений, на которой впервые отмечался антиклинальный перегиб в районе Минерального месторождения.

Глубокое поисково-разведочное бурение на площади начато в 1970 году бурением скважины № 1 в сводовой части структуры. При опробовании верхнемеловых отложений в интервале – 4760 ÷ – 4848 м в 1972 году установлена их нефтегазоносность.

Всего на площади пробурено 12 скважин, в том числе 3 поисковые (№ № 1, 2 и 25), 8 разведочных (№ № 3, 4, 5, 6, 9, 10-с.м., 12 и 31) и 1 эксплуатационная (№ 30). Из них 3 скважины пробурены в границах залежи (№ № 30, 5 и 1).

Общий разведочный метраж составил 36316 м.

Из всех пробуренных разведочных скважин 5 (№ № 2, 3, 4, 6 и 9) ликвидированы по геологическим причинам.

Верхнемеловые отложения вскрыты всеми скважинами, кроме скважины № 9, бурение которой остановлено в майкопских отложениях.

Полностью верхний мел вскрыт в скважинах №№ 1 и 2, толщина соответственно составляет 272 м и 275 м. Разрез верхнего мела полностью также пройден нижнемеловой скважиной № 25, где толщина составила 285 м. В остальных скважинах вскрытая толщина составила 8–140 м.

Проходка с отбором керна в верхнемеловых отложениях осуществлялась в трёх скважинах (№ № 1, 2 и 6). Пройдено по верхнемеловому комплексу всего 24,5 м, а вынесено 3,19 м (в том числе по нефтенасыщенной части пройдено 11 м, вынесено 0,54 м).

Освещённость продуктивных отложений в этих скважинах очень низкая и составила в среднем 0,63 % (нефтегазоносной части 0,19 %). Опробование продуктив-

ных отложений произведено в шести поисковых и разведочных скважинах (№ № 1, 2, 3, 4, 5 и 6) и одной эксплуатационной (№ 30). Испытание производилось как в открытом стволе, так и в стволе, обсаженном колонной, путём её перфорации.

В результате опробования получены притоки нефти в разведочных скважинах №№ 1 и 5 с абсолютных отметок – 4598 ÷ – 4865 м. В скважине № 3 получен приток воды с незначительным количеством нефти, а в остальных (№ № 2, 4 и 6) притоки воды. Таким образом, из пробуренных и опробованных разведочных и поисковых скважин 2 дали положительные результаты и находятся в эксплуатации. Положительные результаты (получен приток жидкости с 28 % воды, содержание которой в процессе эксплуатации в 1985 году уменьшилось до 6 %) получены и при испытании эксплуатационной скважины № 30, которая также находилась в эксплуатации.

По данным сейсмических исследований 1992 года в 2007 году выполнена переинтерпретация материалов сейсморазведки и на основании этих данных уточнено строение месторождения.

Тектоника

Антиклинальная складка входит в состав Терского антиклинория Терско-Сунженской тектонической зоны. В строении структуры принимает участие комплекс мезокайнозойских отложений, который был вскрыт пробуренными скважинами.

Палеоген-неогеновый комплекс отложений имеет моноклиальное залегание и представляет собой погружение северного крыла Хаян-Кортювской структуры без видимых осложнений разрывными нарушениями.

Верхнемеловой и эоценовый комплексы пород осложнены серией разрывных нарушений и имеют более сложное строение по сравнению с палеоген-неогеновым.

Поднятие по кровле верхнемеловых отложений, с достаточной детальностью изученное сейсморазведочными работами и подтверждённое глубоким бурением, представляет собой антиклинальную складку широтного простирания.

По результатам сейсмических исследований, проведённых до 1985 года, и данным бурения Минеральная структура по верхнемеловым отложениям представлена асимметричной антиклинальной складкой с размерами по изогипсе – 5000 м 2,75 × 16 км, высотой 417 м с углами падения южного крыла до 30° и северного до 22°. Структурная карта кровли верхнемеловых отложений Минерального месторождения приведена на рисунке 2, карта эффективных нефтенасыщенных толщин верхнемеловых отложений Минерального месторождения – на рисунке 3.

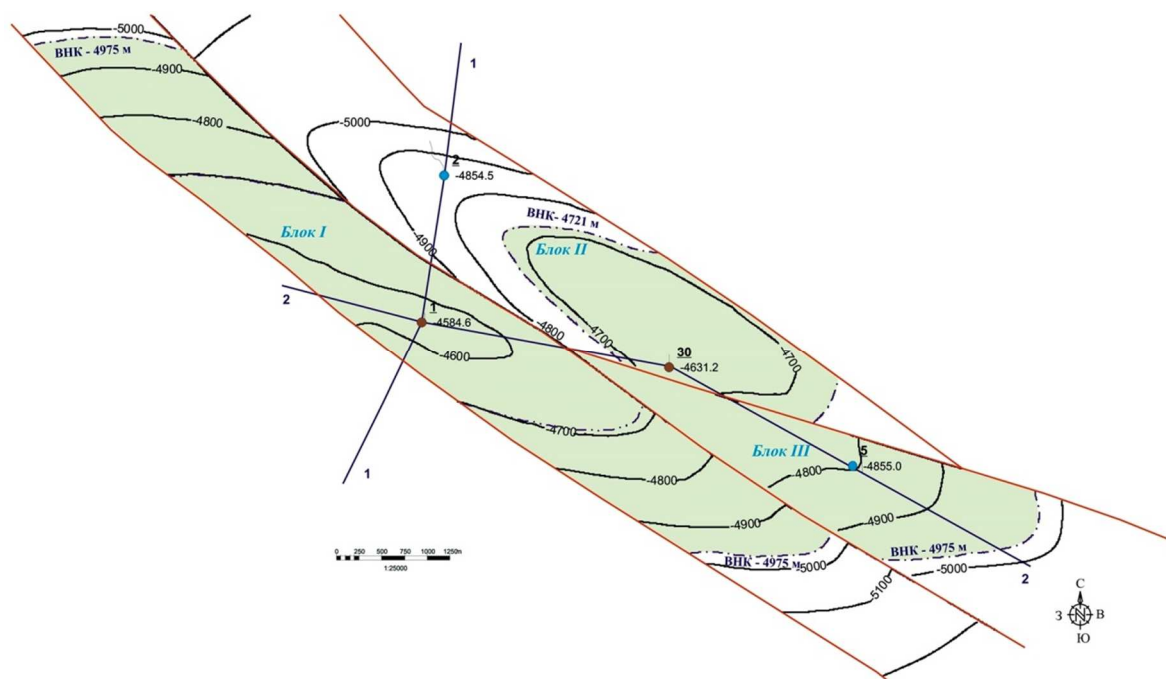


Рисунок 2 – Структурная карта кровли верхнемеловых отложений Минерального месторождения

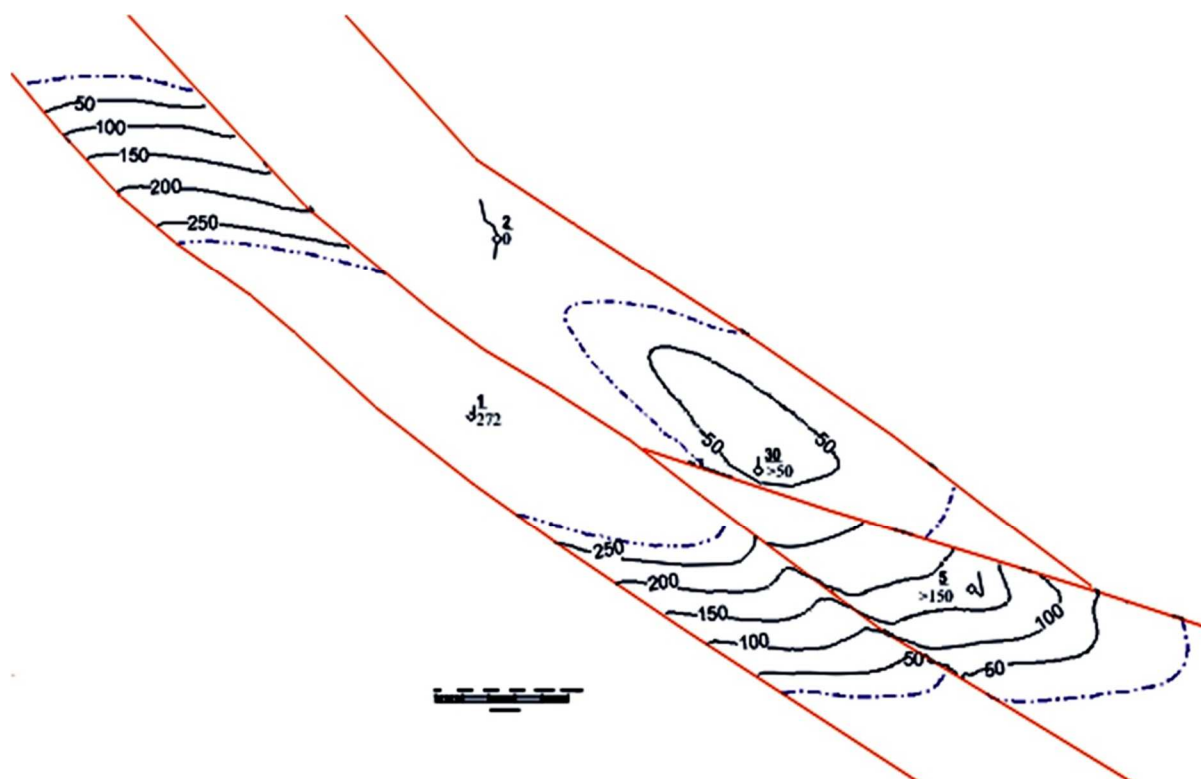


Рисунок 3 – Карта эффективных нефтенасыщенных толщин верхнемеловых отложений Минерального месторождения

По данным сейсмических исследований 1992 года в 2007 году выполнена переинтерпретация материалов сейсморазведки.

Юго-западная складка разделена разрывными нарушениями на несколько блоков. Свод оконтурен изогипсой – 4500 м. В пределах структуры пробурены скважины №№ 1, 3, 4, 5, 30 и 31. Две из них (скважины №№ 1 и 5) дали промышленные притоки нефти из верхнемеловых отложений.

Северо-восточная складка представляет собой антиклиналь, разделённую разрывными нарушениями на 3 блока. Свод структуры оконтурен изогипсой – 4700 м. Скважина № 6, вскрывшая меловые отложения практически на одних гипсометрических отметках со скважиной № 5 Юго-западной складки, не дала притока, что косвенно подтверждает вывод о принадлежности этих двух скважин к разным складкам (или блокам).

Нефтегазоносность

На Минеральном месторождении нефтегазоносными являются верхнемеловые отложения и небольшое поле фораминиферовых отложений в районе скважины № 5.

Залежь верхнемеловых отложений открыта в 1972 году получением промышленных притоков нефти в скважине № 1 дебитом 485 м³/сут.

По блокам I и III залежи в районе скважин №№ 1 и 5 водонефтяной контакт принят условно ниже нижних отверстий перфорации на гипсометрической отметке – 4975 м по последней замкнутой изогипсе. Блоки I и III гидродинамически связаны.

По блоку II залежи в районе скважины № 30, в скважине № 2, расположенной на севере блока, при опробовании нижней части верхнемелового разреза притока флюида не получено, а при опробовании верхней части разреза получены притоки пластовой воды: в интервале 5100-5195 (– 4878 ÷ – 4957 м) дебитом 432 м³/сут. и в интервале 5072–5080 (– 4855 ÷ – 4861 м) после установки цементного моста – дебитом 65 м³/сут.

При опробовании интервала перфорации скважины № 30 (– 4642 ÷ – 4721 м) был получен приток нефти с водой дебитом 140 м³/сут. ВНК залежи принимается по нижним отверстиям перфорации. Принятое положение ВНК согласуется с накопленной добычей нефти и текущей остановкой скважины по причине обводнённости.

Размеры верхнемеловой залежи в контурах нефтеносности составляют:

– блок I (район скважины № 1) 9,5 × 1,125 км, эффективная нефтенасыщенная толщина 201 м; глубина залегания 5000 м.

- блок II (район скважины № 30) 4,0 × 1,25 км, эффективная нефтенасыщенная толщина 37,6 м; глубина залегания 5100 м.
- блок III (район скважины № 5) 5,25 × 1,0 км, эффективная нефтенасыщенная толщина 148 м; глубина залегания 4871 м.

Залежь пластовая сводовая, тектонически экранированная.

Геологический разрез по линии I-I показан на рисунке 4, геологический разрез по линии II-II – на рисунке 5.

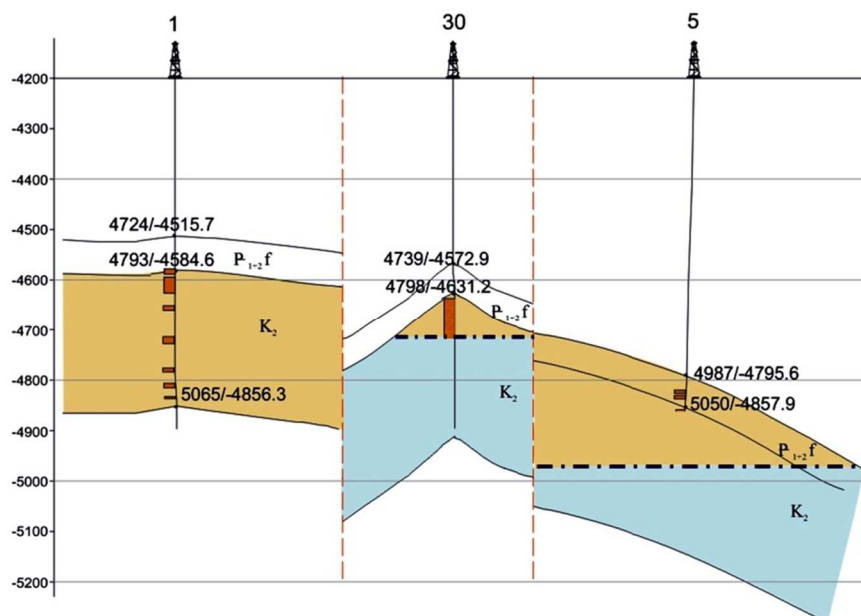


Рисунок 4 – Геологический разрез по линии I-I

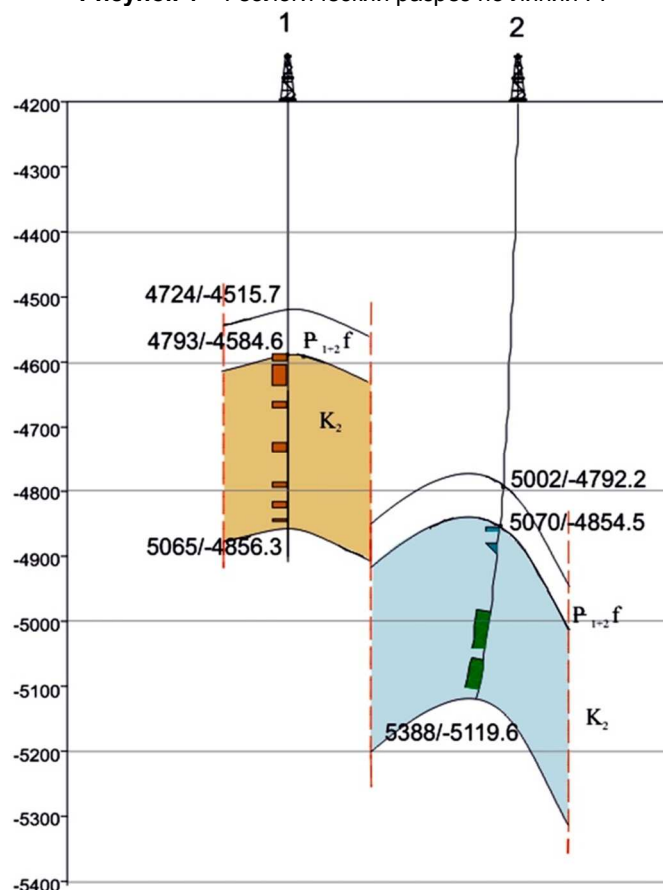


Рисунок 5 – Геологический разрез по линии II-II

Анализ структуры фонда скважин и показателей их эксплуатации

На Минеральном месторождении пробурено 12 скважин, из них 8 разведочных, 3 поисковые, 1 эксплуатационная. На 01.01.2018 г. по геологическим причинам ликвидировано 8 скважин (№ № 3, 4, 6, 9, 10-с.м., 12, 25 и 31).

За весь предшествующий период разработки Минерального месторождения поддержание пластового давления путём закачки воды (или другие методы воздействия) не проводилось. Известно только, что в 1992 году в скважине № 2 был закачан незначительный объём воды (1,7 тыс. м³). Залежь разрабатывалась за счёт естественного режима вытеснения. Поэтому вплоть до 2010 года единственным способом эксплуатации всех скважин на месторождении был фонтанный.

За время эксплуатации скважин пластовое давление уменьшалось, вследствие чего уменьшались дебиты по скважинам. С 1995 года по 2003 гг. разработка месторождения не велась. В июле 2004 года была введена в эксплуатацию скважина № 5. В 2005 году были введены в эксплуатацию скважины №№ 1 и 30.

В таблице 1 приведена характеристика текущего состояния фонда скважин Минерального месторождения

Таблица 1 – Характеристика фонда скважин в пределах лицензионного участка Минерального месторождения

Наименование	Характеристика фонда скважин	Количество скважин
Фонд добывающих скважин	Пробурено	4
	Возвращено с других горизонтов:	–
	Всего	4
	в том числе:	–
	– действующие	1
	из них: фонтанные	–
	ЭЦН	1
	ШГН	–
	газлифт:	–
	бескомпрессорный	–
	внутрискважинный	–
	– бездействующие	–
	– в освоении после бурения	–
	– в консервации	–
	– наблюдательные	2
– переведены под закачку	1	
– переведены на другие горизонты	–	
– в ожидании ликвидации	–	
– ликвидированные	–	
Фонд нагнетательных скважин	Пробурено	–
	Возвращено с других горизонтов	–
	Переведены из добывающих	1
	Всего	1
	в том числе:	–
	– под закачкой	–
	– бездействующие	–
	– наблюдательные	1
	– в консервации	–
	– в отработке на нефть	–
	– переведены на другие горизонты	–
– в ожидании ликвидации	–	
– ликвидированные	–	
Пробурено	–	

Анализ энергетического состояния месторождения

Данные о замерах пластового давления в скважинах, вскрывших верхнемеловые отложения, имеются лишь до 1984 года, и заимствованы нами из отчётов по подсчёту запасов и технологической схемы, выполненных в СевКавНИПИнефть. Позже 1984 года имеются сведения лишь о средних величинах пластового давления в залежи.

Начальное пластовое давление замерено в скважине № 1. Начальное пластовое давление, приведённое к отметке 4600 м – 77 МПа.

В скважине № 5 пластовое давление было замерено в сентябре 1976 года и составляло 53,6 МПа. Пластовое давление, замеренное по скважине № 1 в 1976 году, составляло 50,6 МПа, что говорит о том, что скважина № 1 дренирует запасы и скважины № 5, и между блоками скважин №№ 1 и 5 есть гидродинамическая связь. Уменьшение темпов падения пластового давления и стабилизация его может говорить об активности водонапорной области и компенсации данных отборов нефти.

На рисунке 6 приведена зависимость пластового давления от накопленной добычи жидкости во времени. Эта закономерность также показывает, что интенсивное падение пластового давления в залежи в начальный период её разработки было связано с эксплуатацией скважины № 1 при высоких депрессиях. С 1976 года интенсивность снижения пластового давления уменьшилась, т.е. перераспределение пластового давления в зоне отбора и водоносной области происходило с одинаковым темпом.

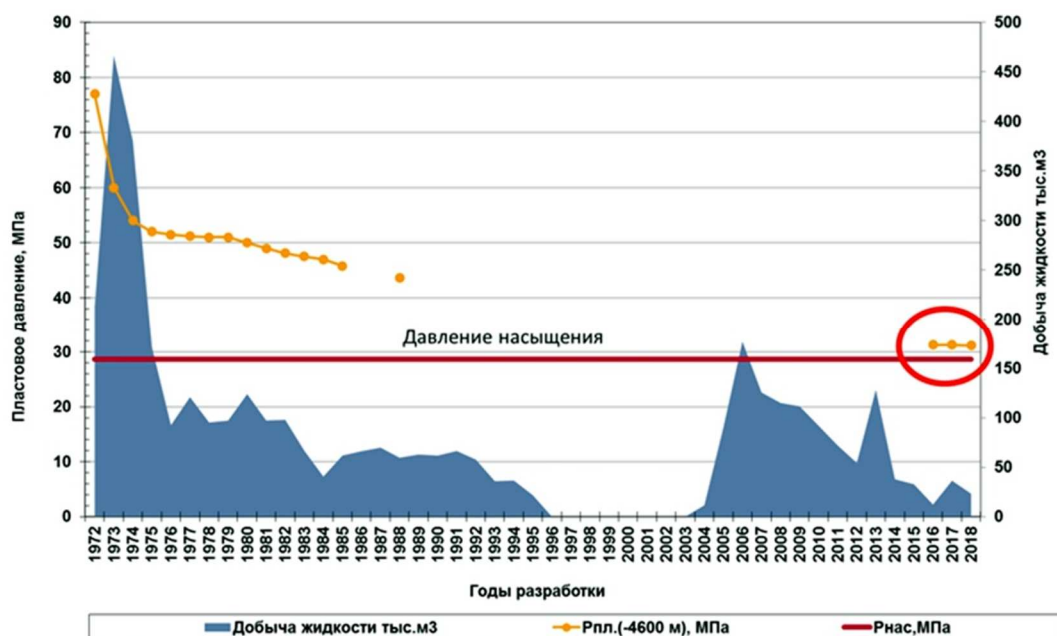


Рисунок 6 – Зависимость пластового давления от накопленной добычи жидкости во времени

Залежь разрабатывается в условиях упругого водонапорного режима.

Анализируя величины начальных и текущих пластовых давлений, можно сделать вывод, что естественный режим разработки блоков скважин №№ 1 и 5 привёл к снижению пластового давления в начальный период при интенсивных отборах из скважины № 1. Скважина № 1 дренирует запасы как своего блока, так и блока скважины № 5.

25.10.2012 г. был выполнен замер пластового давления в скважине № 1, приведённое $R_{пл}$ составило 25,0 МПа, что на 3,3 МПа ниже давления насыщения. Поскольку в течение последних лет не происходило существенного увеличения газового фактора, то, вероятно, имеет место неточность проведённого замера.

Была также выполнена оценка давления в блоке скважин №№ 1 и 5 методом материального баланса. По экстраполяции прямолинейной зависимости $P_{пл} = f(Q_{ж.пл. усл.})$ получаем ожидаемое на 01.01.2018 г. пластовое давление в верхнемеловой залежи 30,4 МПа, которое подтверждается расчётами на гидродинамической модели, поэтому это значение принимается для дальнейших расчётов и прогнозирования.

Анализ выработки запасов

Верхнемеловая залежь Минерального месторождения относится к массивному типу, коллекторские свойства нефтенасыщенных пластов обеспечивают хорошую гидродинамическую связь в пределах блоков залежи.

На 01.01.2018 г. из верхнемеловой залежи нефти Минерального месторождения отобрано 2308,6 тыс. тонн нефти, что составляет 73,3 % от оценённых начальных извлекаемых запасов в количестве 3150 тыс. тонн. Начальные геологические запасы составляют 4876 тыс. тонн нефти. Текущий КИН по месторождению составляет 0,473. Динамика изменения основных технологических показателей разработки залежи К2 Минерального месторождения показана на рисунке 7.

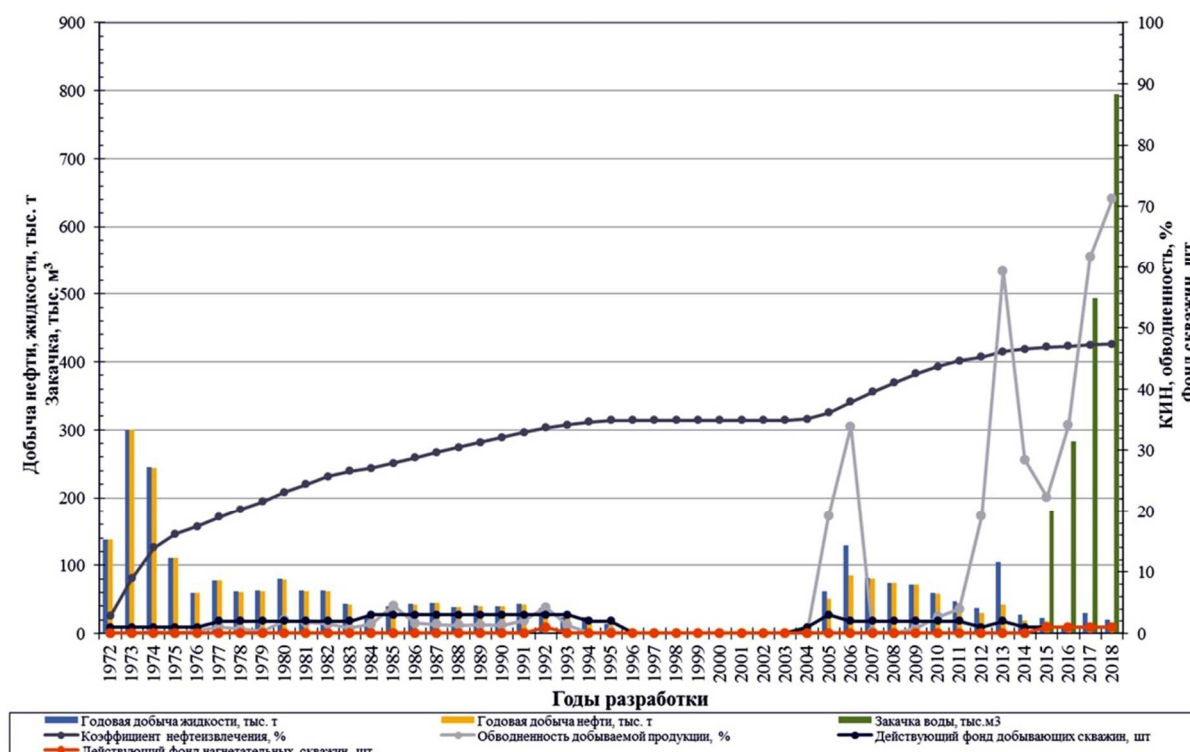


Рисунок 7 – Динамика изменения основных технологических показателей разработки залежи К2 Минерального месторождения

При утверждении в предыдущем проекте КИН 0,646 предполагался упруговодонапорный режим разработки. Такая эксплуатация месторождения была связана с его строением, расположением скважин на структуре (скважины №№ 1 и 30 расположены на самых высоких отметках, что очень важно из истории разработки аналогичных залежей нефти), высокой подвижностью нефти, благоприятным соотношением плотностей нефти и воды в пластовых условиях, высокой газонасыщенностью нефти, что способствует эффективному вытеснению.

Основная часть начальных запасов месторождения (95 %) сосредоточена в блоках I и III скважин №№ 1 и 5.

Согласно расчётам на модели, текущий ВНК в блоке скважин №№ 1–5 находится на отметке – 4845 м. Эти данные подтверждаются текущей работой скважин.

Различие КИН по блокам I-III и II связано с различием гидродинамических характеристик. Об этом свидетельствуют существенно более низкие значения входного дебита по скважине № 30, чем по скважинам №№ 1 и 5, а также дальнейшая история разработки.

На II блоке месторождения сосредоточено лишь 5 % запасов нефти, добыча из блока составила 145 тыс. тонн нефти (6,5 % от добычи с месторождения), текущий КИН 0,572. Запасы по блоку полностью выработаны, скважина № 30 полностью обводнилась и переведена в нагнетательные.

Карта накопленных отборов залежи К2 Минерального месторождения по состоянию на 01.01.2018 г. приведена на рисунке 8, карта текущих отборов залежи К2 Минерального месторождения по состоянию на 01.01.2018 г. – на рисунке 9.

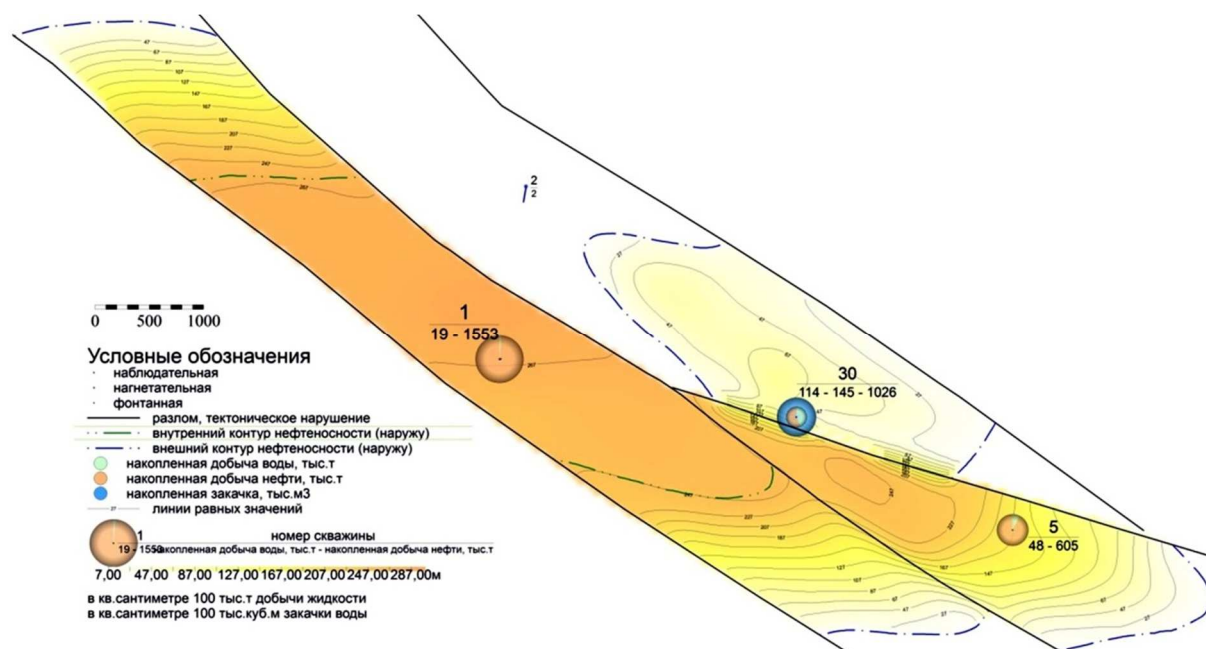


Рисунок 8 – Карта накопленных отборов залежи К2 Минерального месторождения по состоянию на 01.01.2018 г.

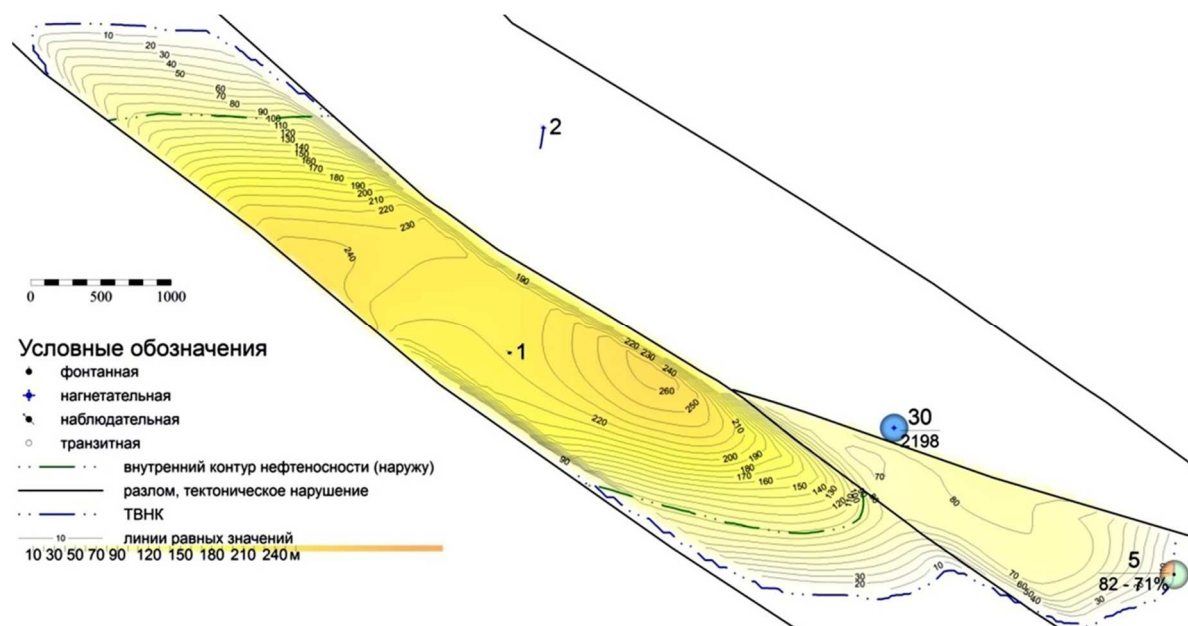


Рисунок 9 – Карта текущих отборов залежи К2 Минерального месторождения по состоянию на 01.01.2018 г.

Выводы по текущему состоянию разработки

По результатам проведённого анализа разработки месторождения можно сделать следующие выводы:

- на 01.01.2018 г. месторождение разрабатывается одной добывающей скважиной (№ 5) и одной нагнетательной скважиной (№ 30);
- можно судить о достаточно хорошей изученности месторождения в целом;
- энергетическое состояние залежи К2 пласта неудовлетворительное, требуется организация ППД при дальнейшей разработке пласта.

Так как Минеральное месторождение находится на четвёртой стадии разработки, в процессе эксплуатации пластовое давление упало с 77 МПа до 31,3 МПа при давлении насыщения нефти газом 28,3 МПа. По расчётам возможно продолжать эксплуатацию месторождения действующим фондом скважин только 1 год (2019 г.), после

давление падает до давления насыщения. Без изменения технологии утверждённый КИН не будет достигнут.

Технологические показатели вариантов разработки и выбор рекомендуемого варианта разработки

Для дальнейшей разработки Минерального нефтяного месторождения для залежи К2 рассмотрено и рассчитано 3 варианта разработки.

Исследования прогнозной доработки залежи нефти верхнемеловых отложений Минерального месторождения рекомендуется провести по трём промышленным вариантам.

Базовый вариант – доработка действующим фондом скважин, т.к. месторождение находится на четвёртой стадии разработки. В процессе эксплуатации пластовое давление упало с 77 МПа до 31,3 МПа при давлении насыщении нефти газом 28,3 МПа. По расчётам возможно продолжать эксплуатацию месторождения действующим фондом скважин только 1 год (2019 г.), после давление падает до давления насыщения. Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи по базовому варианту показаны на рисунке 10.

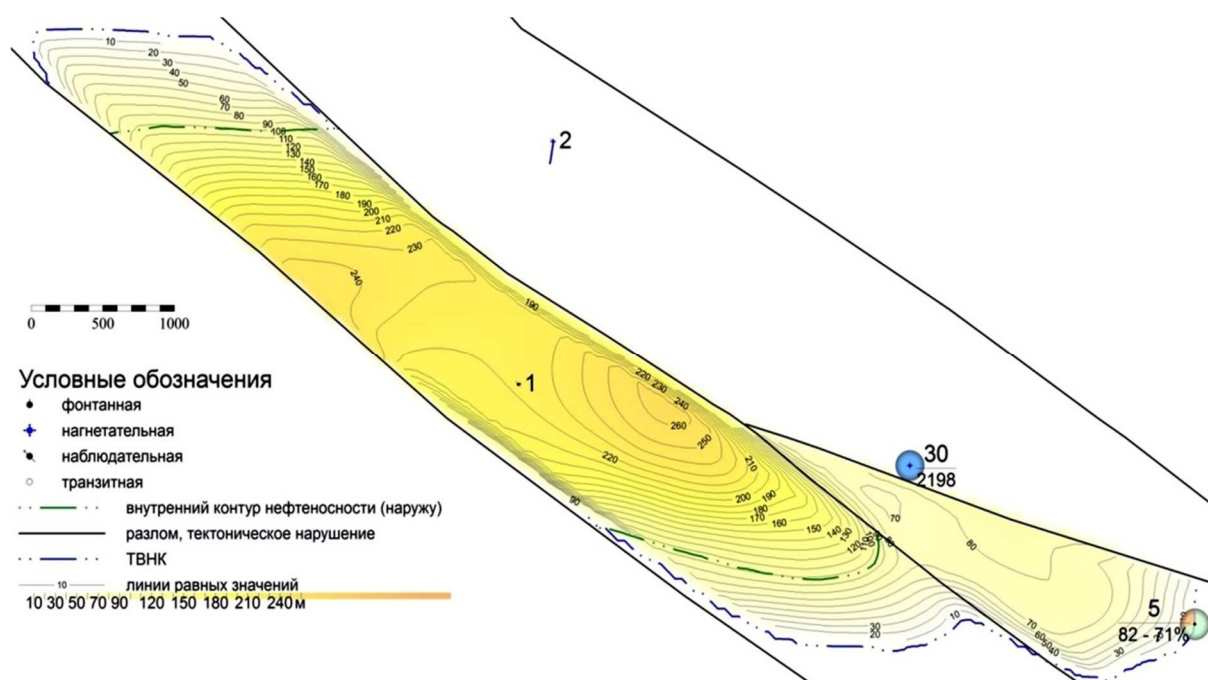


Рисунок 10 – Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи (базовый вариант)

Вариант 1 предусматривает ввод новой скважины и применение в ней технологии ОРДиЗ для добычи нефти и закачки воды в одну скважину с целью ППД. Добыча нефти из верхних перфорационных отверстий по наружному НКТ через малый перфорационный блок и закачка подготовленной воды по внутренней НКТ ниже водонефтяного контакта. Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи по варианту 1 показаны на рисунке 11.

Вариант 2 предусматривает ввод двух новых скважин – одна скважина для добычи нефти, другая – для закачки воды с целью ППД. Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи по варианту 2 показаны на рисунке 12.

Сопоставление добычи нефти и КИН по вариантам разработки залежи К2 Минерального месторождения представлено на рисунке 13.

По результатам технико-технологических и экономических расчётов лучшим был признан вариант с применением технологии одновременно-раздельной добычи и закачки (ОРДиЗ).

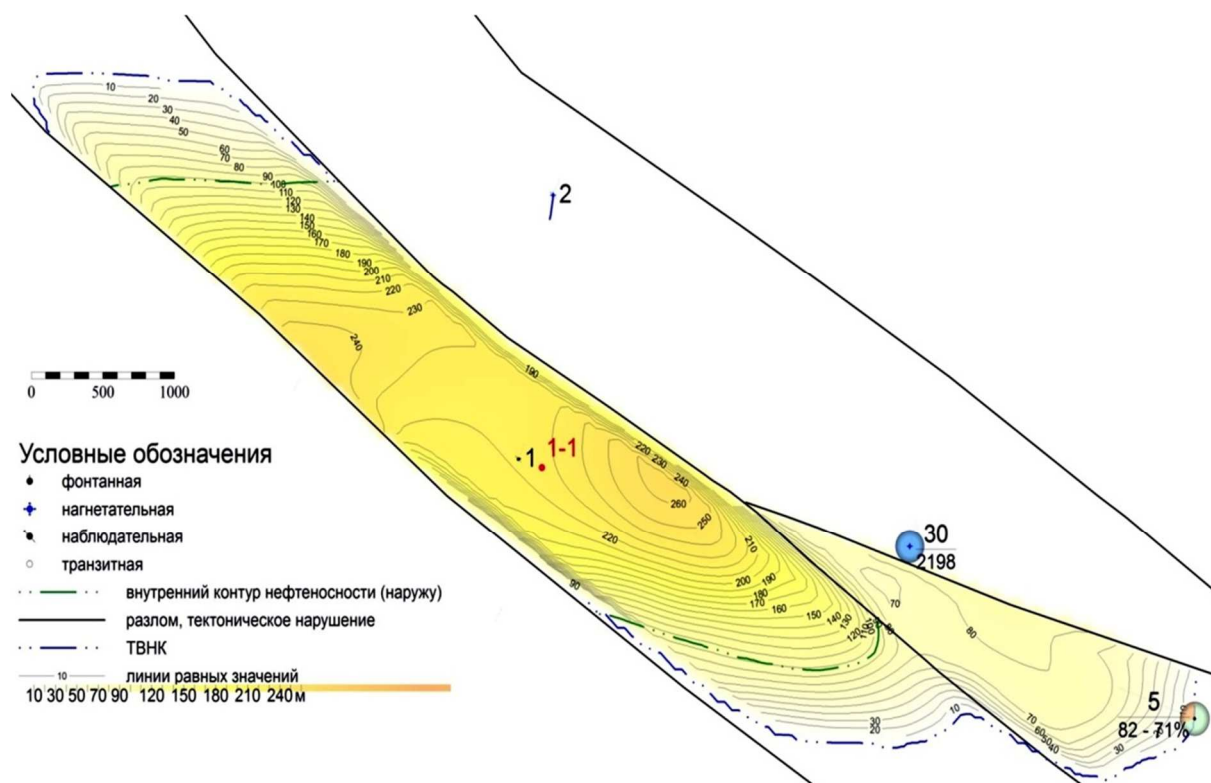


Рисунок 11 – Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи (вариант 1)

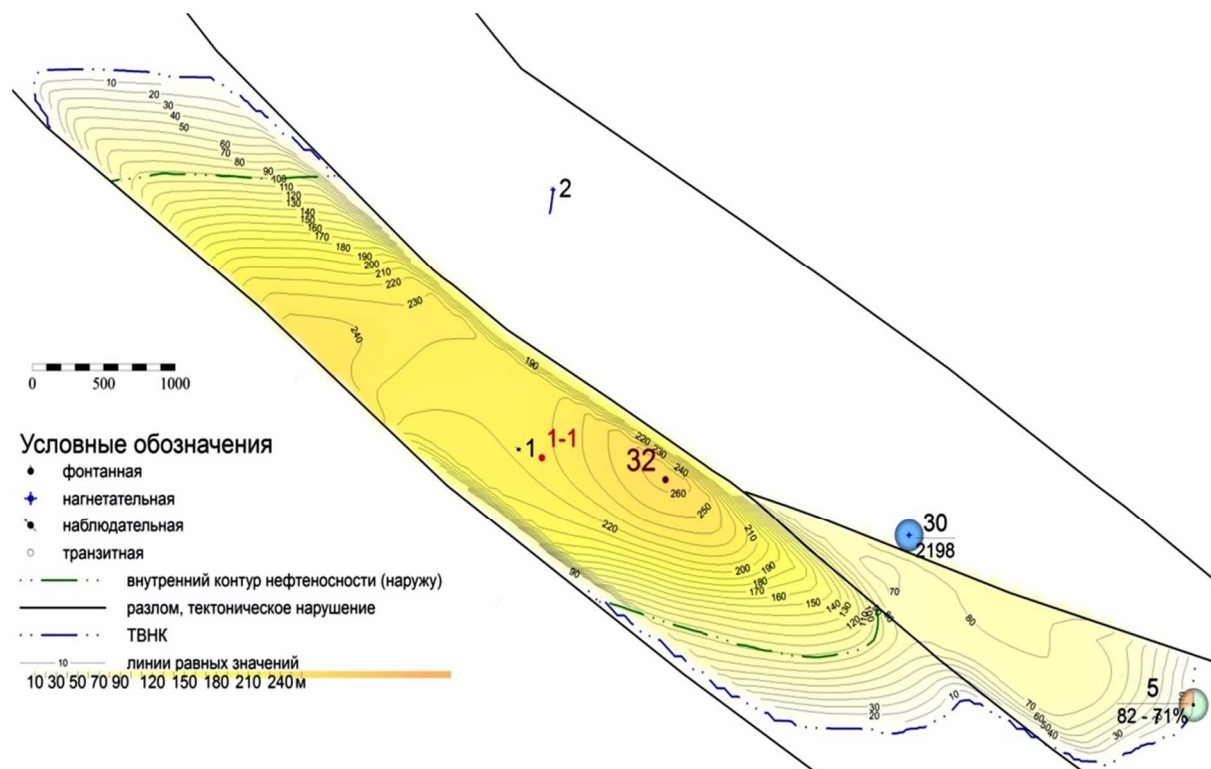


Рисунок 12 – Схема размещения скважин и планируемые ГТМ верхнемеловой залежи (вариант 2)

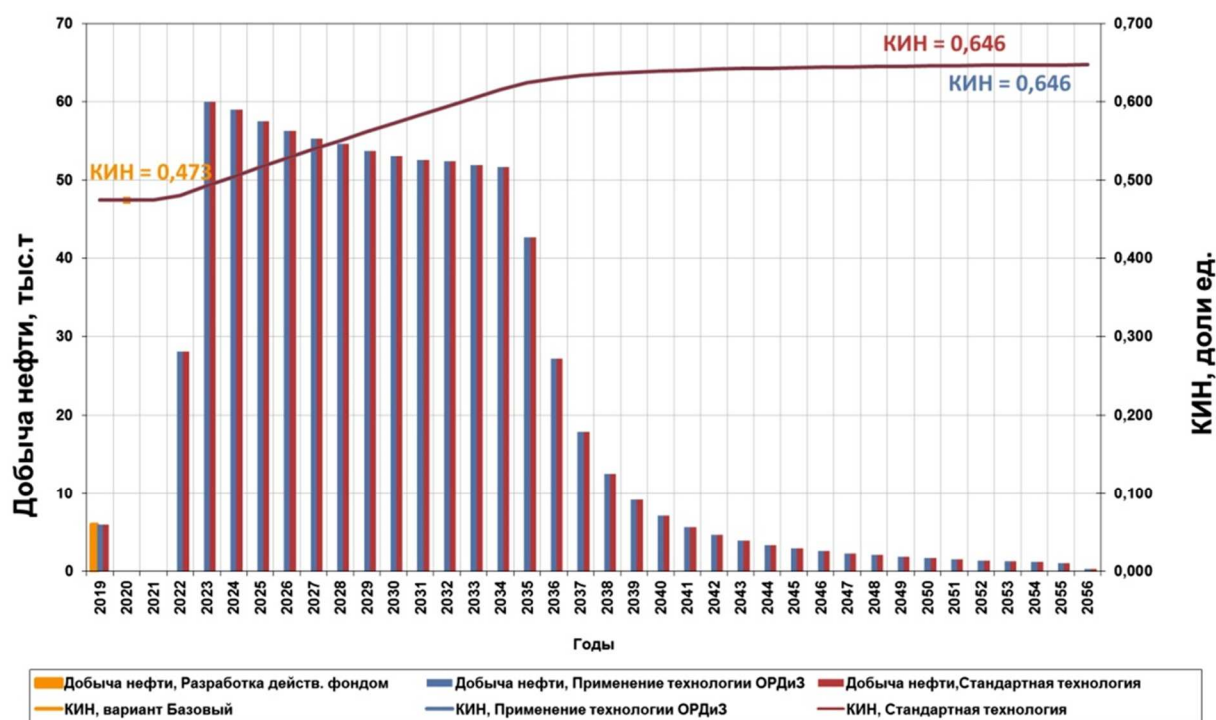


Рисунок 13 – Сопоставление добычи нефти и КИН по вариантам разработки залежи К2 Минерального месторождения

Описание технологии одновременно-раздельной добычи и закачки

Опыт разработки нефтяных месторождений показывает, что более половины всех капитальных вложений приходится на бурение скважин. В связи с этим всегда возникает проблема объединения тех или иных пропластков, пластов или горизонтов в один или несколько объектов разработки, которые могли бы эксплуатироваться одной сеткой скважин. В связи с этим в скважинах приходится перфорировать несколько пластов и эксплуатировать их, как говорят, «общим фильтром». Это позволяет экономить значительные средства и материальные ресурсы на бурении скважин. Однако в дальнейшем, на более поздних стадиях разработки по мере поступления дополнительной геологической информации, а также сведений о взаимодействии скважин, выявляется более детальная пластовая обстановка на забое скважин. Иногда некоторые нефтенасыщенные прослои или пласты, вместо того чтобы отдавать жидкость, поглощают её в результате вскрытия общим фильтром. Обычно это приводит к отставанию выработки запасов нефти из таких пластов, преждевременному обводнению одних (с хорошей проницаемостью) и консервации запасов нефти в других (с плохой проницаемостью или слабым участием) в процессе разработки по тем или иным причинам.

Наилучшим выходом из такого положения было бы создание независимых систем разработки со своими сетками скважин на каждый пласт, и это делается, когда пласты со схожими характеристиками группируются в один объект разработки и эксплуатируются общим фильтром.

Одновременная разработка нескольких пластов одним объектом возможна только при одинаковых физико-химических свойствах нефтей в объединяемых пластах, если приток нефти и газа достаточен из каждого пласта при допустимом забойном давлении в скважине, при близких значениях пластового давления в объединяемых пластах, исключающих перетоки нефти между пластами, и близких значениях обводнённости пластов. Если вышеизложенные условия не соблюдаются, то многопластовые месторождения разрабатывают методом одновременно-раздельной эксплуатации одной скважиной (ОРЭ).

При принятии решения об использовании метода ОРЭ учитывается степень выработанности запасов, близость контура нефтеносности к скважинам, наличие смол и парафина в добываемых нефтях, толщины продуктивных пластов и разделяющих их непроницаемых пропластков, состояние эксплуатационной колонны скважин и т.д.

Развитие технологии отдельной эксплуатации нескольких пластов пошло по пути создания специального оборудования, спускаемого в скважину, вскрывающую два или три пласта. Основным элементом такого оборудования является пакер, изолирующий пласты друг от друга, с отдельными каналами для выхода жидкости на поверхность.

Оборудование для ОРЭ пластов через одну скважину должно допускать:

- создание и поддержание заданного давления против каждого вскрытого пласта;
- измерение дебита жидкости, получаемой из каждого пласта;
- получение на поверхности продукции разных пластов без их смешивания в скважине, так как свойства нефтей (сернистые и несернистые) могут быть различными;
- исследование каждого пласта, например, методом пробных откачек или методом снятия КВД;
- ремонтные работы в скважине и замену оборудования, вышедшего из строя;
- регулировку отбора жидкости из каждого пласта;
- работы по вызову притока и освоению скважины;
- надёжное разобщение пластов на протяжении всего периода эксплуатации;
- простота конструкций и обслуживания;
- наименьшая металлоёмкость
- надёжность в эксплуатации.

Раздельно эксплуатировать два пласта в зависимости от условий притока жидкости в скважину можно следующими способами:

- 1) оба пласта фонтанным способом;
- 2) один пласт фонтанным, другой – механизированным способом;
- 3) оба пласта механизированным способом.

Согласно установившейся терминологии принято для краткости именовать ту или иную технологическую схему совместной эксплуатации названием способа эксплуатации сначала нижнего, а затем верхнего пласта. Например, схема «насос – фонтан» означает, что нижний пласт эксплуатируется насосным способом, а верхний – фонтанным. В соответствии с этим теоретически возможны следующие комбинации способов эксплуатации: «фонтан – фонтан»; «фонтан – газлифт»; «газлифт – фонтан»; «насос – фонтан»; «фонтан – насос»; «насос – газлифт»; «газлифт – насос»; «насос – насос»; «газлифт – газлифт».

Преимущества ОРЭ:

- повысить нефтеотдачу и дебит скважин за счёт дополнительного вовлечения в разработку низкопроницаемых прослоев;
- увеличить степень охвата и интенсивное освоение многопластовых месторождений путём раздельного вовлечения в разработку отдельных низкопроницаемых пластов;
- сократить капитальные вложения на бурение скважины;
- интенсифицировать процесс регулирования отборов и закачки во времени и по разрезу скважины;
- сократить сроки разработки месторождения;
- снизить эксплуатационные затраты.

Таким образом, применение ОРЭ позволит сократить срок разработки месторождения, ввести месторождение в разработку в более ранние сроки, снизить капитальные и эксплуатационные затраты, снизить количество скважин по объекту.

Технология, применимая к месторождению

Основными факторами, влияющими на возможность использования технологии ОРДиЗ, являются нефтенасыщенная толщина (этаж нефтеносности 270 м) и физические свойства нефти и воды, способствующие сегрегационному эффекту и равномерному подъёму ВНК (плотность нефти в пластовых условиях в 1,5 раза меньше плотности воды).

Технология предусматривает ввод новой скважины и применение в ней технологии ОРДиЗ для добычи нефти и закачки воды в одну скважину с целью ППД. Добыча нефти из верхних перфорационных отверстий по наружному НКТ через малый перфорационный блок и закачка подготовленной воды по внутренней НКТ ниже водонефтяного контакта (рис. 14).

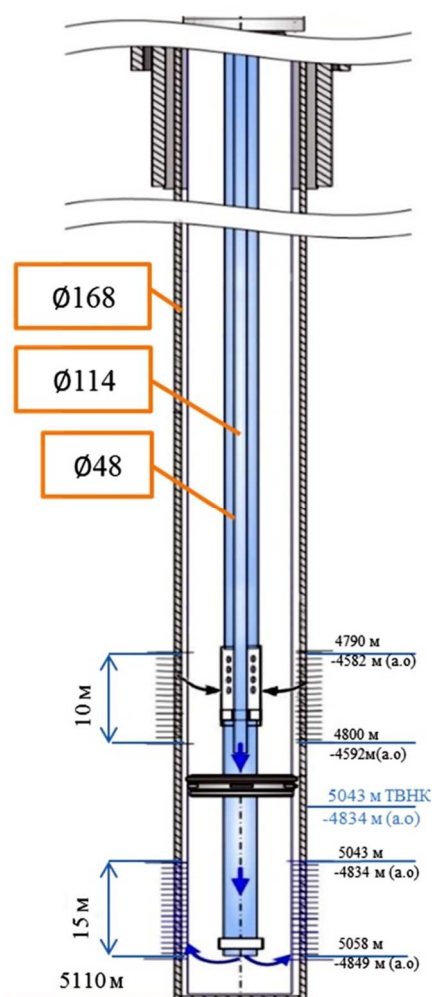


Рисунок 14 – Двухлифтовая концентрическая система с разделением перфорационных отверстий пакером

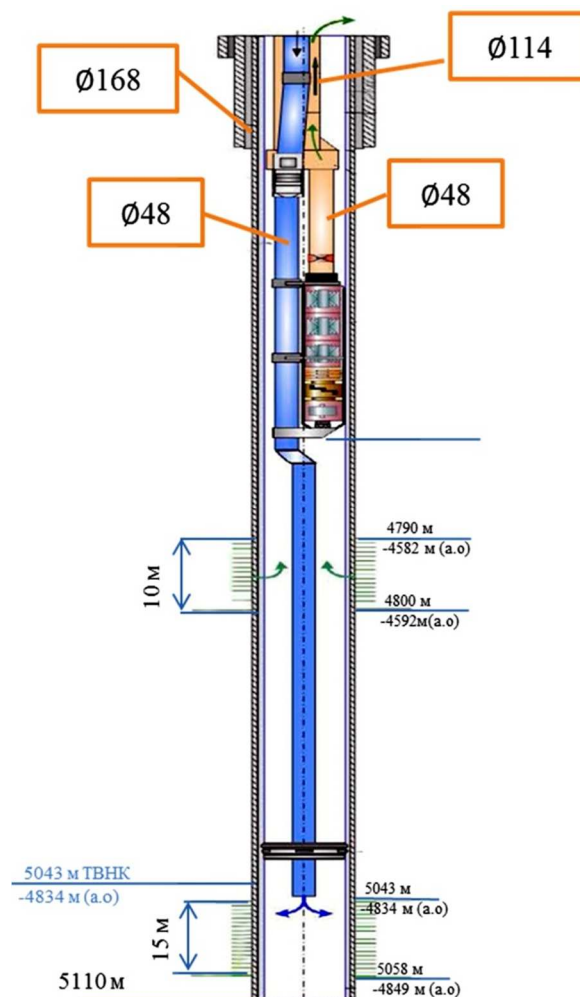


Рисунок 15 – Двухлифтовая концентрическая система с разделением перфорационных отверстий пакером с УЭЦН

Так как текущее пластовое давление ($P_{пл}$) равняется 300 атмосфер, а глубина 5000 м, то можно судить, что при начале закачки жидкости в пласт репрессия будет составлять 200 атмосфер. Это говорит о том, что закачка может осуществляться без применения насоса.

Добыча нефти осуществляется фонтанным способом по расчётам до 2039 года, в дальнейшем требуется перевод на УЭЦН ввиду снижения забойного давления ниже давления фонтанирования (рис. 15).

Для расчёта прогнозных вариантов показателей разработки по технологии ОР-ДиЗ и стандартному заводнению были построены цифровые модели.

Геологическая модель месторождения

Основная цель построения геолого-технологической модели – дать возможность отслеживать в динамике выработку остаточных запасов углеводородов, точнее прогнозировать добычу нефти и газа, моделировать геолого-технологические мероприятия по повышению нефтеотдачи и эффективности работы предприятия, обоснованно рассчитывать наиболее рациональные и экономически эффективные варианты разработки продуктивных пластов.

Выбор методики расчёта технологических показателей обосновывается, исходя из степени изученности месторождения, геологического строения пластов, типа коллекторов, их фильтрационно-емкостных характеристик, неоднородности, режимов эксплуатации залежи, стадий и возможных вариантов разработки, размеров залежи, физико-химических свойств коллекторов и насыщающих их флюидов, накопленного опыта разработки месторождений подобного типа и т.д.

Методика построения цифровой геологической модели

В настоящей работе приведена геологическая модель продуктивного горизонта К2 Минерального месторождения. Фильтрационные модели объектов разработки созданы на базе геологических моделей.

Моделирование включало следующие этапы:

- подготовка исходных данных;
- структурное моделирование;
- литологическое моделирование;
- петрофизическое моделирование;
- подсчёт запасов УВС.

Первоочередная задача при построении залежи заключалась в реальном отображении формы и фильтрационно-емкостных свойств нефтяных объектов для дальнейших процессов гидродинамического моделирования.

Основные геометрические параметры геологических моделей продуктивных горизонтов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Размерность геологических моделей продуктивных пластов

Размеры модели, км × км	5,33 × 5,54
Разрешение сетки:	
– по горизонтали	50
– по вертикали	49,6
Количество ячеек:	
– X	290
– Y	68
– Z	60
– общее	1183200

Структурное моделирование

На этапе структурного моделирования были построены структурные поверхности кровли и подошвы горизонта с учётом линий выклинивания и залегания относительно отложений старшего возраста. Структурная модель продуктивного горизонта верхнемеловых отложений схематично представлена на рисунке 16.

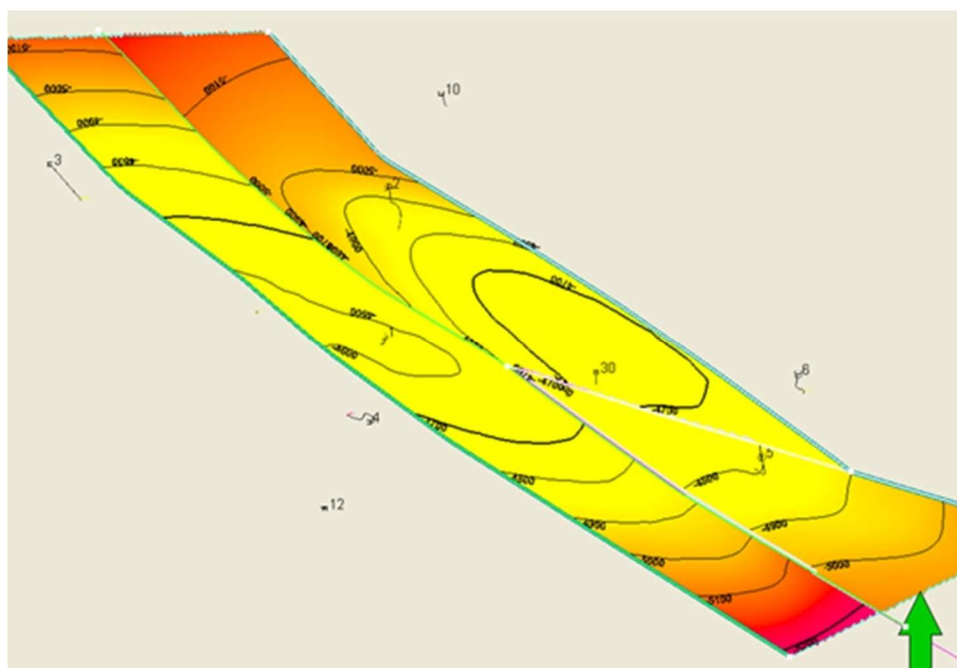


Рисунок 16 – Структурная модель залежи К2

Процесс построения цифровой математической модели состоял из двух этапов: структурно-тектоническое и литологическое моделирование.

На начальном этапе структурного построения выполнена разломная модель. При построении модели разломов использовались данные сейсморазведки и бурения. Для верхнемеловой залежи смоделировано 3 разлома, параллельных оси складки, и 1 диагональный.

Залежь нефти Минерального месторождения приурочена к фораминиферовым и верхнемеловым отложениям. Кровля продуктивных отложений верхнего мела строилась с использованием результатов сейсмических исследований 2D и скважинных отбивок.

Коллектора верхнемеловых отложений грозненской группы месторождений – массивные, трещины пронизывают массив полностью, для данного типа залежей нефтенасыщенные толщины традиционно принимаются от кровли до ВНК.

При построении модели распространения коллектора учитывался данный тип залежи, поэтому весь объём резервуара по кубу литологии заполнен дискретной величиной коллектора (рис. 17).

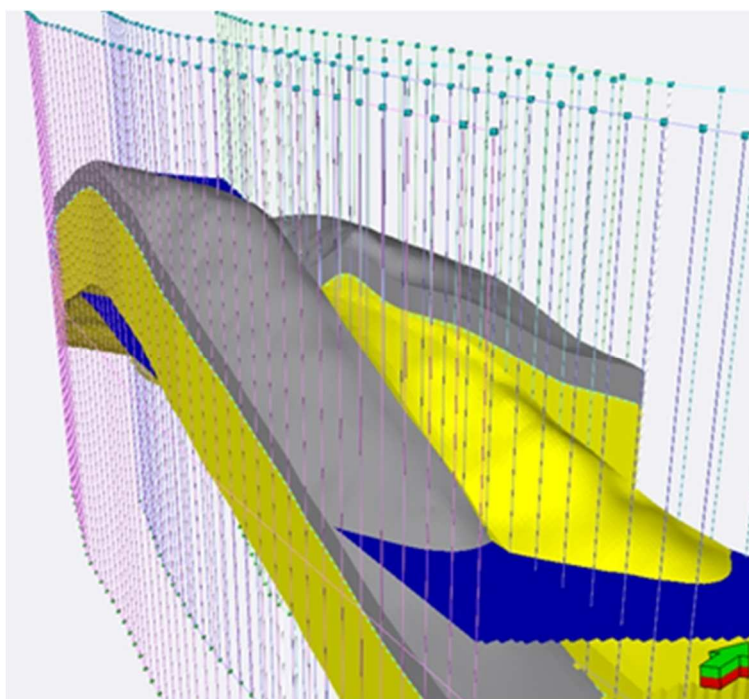


Рисунок 17 – Распределение литологии залежи нефти

Построение модели насыщения пластов флюидами

После анализа межфлюидных контактов по каждому пласту построены структурные поверхности ВНК и ГНК и созданы дискретные кубы индекса насыщенности коллекторов. Для этого определено положение центра каждой ячейки относительно поверхности контактов. Если центр ячейки находился ниже водонефтяного контакта, то ячейке присваивался индекс 0 (вода), если центр ячейки находится выше ГНК, то ячейке присваивается индекс 2 (газ), в зоне между ВНК и ГНК значения ячеек равны 1 (нефть).

На основании всего выше изложенного в фильтрационной модели для расчёта взят коэффициент вытеснения равный КИН 0,572 для блока II и 0,650 для блока I-III. Данные значения позволяют учесть неоднородности в строении залежи, а также при полной выработке запасов выйти на значения, числящиеся на Государственном балансе.

В связи с незначительным количеством исследованных образцов и скважин значения пористости и проницаемости в фильтрационной модели заданы одним значением.

Коэффициент вторичной пористости известняков составляет 0,005 доли ед., проницаемости – 75 мД.

Подсчёт геологических запасов УВС

Подсчёт запасов нефти и газа проведён объёмным методом. Для оценки достоверности геологической модели проведено сравнение подсчётных параметров и начальных геологических запасов УВ, полученных в результате построений геологических моделей и фактических данных (табл. 3).

Таблица 3 – Сопоставление параметров и запасов УВ геологической модели с данными, представленными для утверждения

Пласт (залежь)	Параметры	Представленные на утверждение	Полученные по геологической модели	Расхождение	
				абс. ед	%
К2	Начальные геологические запасы нефти, тыс. тонн	4876	4896	20	0,4
	Объём нефтенасыщенных пород, тыс. м ³	2746302	2758003	11701	0,4
	Площадь нефтеносности, тыс. м ²	17786	17633	– 153	– 0,9
	Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина, м	154,4	154,4	0	0
	Средний коэффициент пористости, доли ед.	0,005	0,005	0	0
	Средний коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.	0,85	0,85	0	0

На основании выполненного сравнительного анализа можно говорить о высокой степени достоверности геологической модели.

Гидродинамическая модель месторождения

Характеристика методики и программного обеспечения для построения цифровых фильтрационных моделей

Одним из основных направлений в повышении качества и обоснованности проектных решений является использование методики трёхмерного численного моделирования продуктивных пластов.

Для идентификации гидродинамических параметров Минерального месторождения и последующего выполнения прогнозных расчётов технологических показателей по вариантам разработки была выбрана трёхмерная модель фильтрации флюида в пористой среде.

Моделирование основано на численном (конечно-разностном) методе решения системы уравнений в частных производных, описывающих трёхмерную фильтрацию флюида в пористой среде.

Моделью учитываются гравитационные силы, сжимаемость пласта и насыщающих его флюидов, фазовые превращения углеводородных компонентов, влияние градиентов пластового давления на остаточные насыщенности нефтью и водой, неоднородность пласта по проницаемости и толщине.

Симулятор позволяет рассчитывать показатели разработки нефтяной, водонефтяной, газовой, водогазовой или нефтегазовой залежей.

Скважины могут вводиться не одновременно и размещаться на залежи, как по регулярной системе, так и произвольно. На скважинах можно поддерживать либо дебиты по сумме фаз, либо давления на забоях.

На границах моделируемого участка залежи четырёхугольной формы могут быть заданы краевые условия первого рода – фиксированное пластовое давление, второго рода – фиксированный расход жидкости через границу (нулевой расход соответствует непроницаемой границе) и третьего рода – фиксированная линейная связь между переменными: расходом через границу и пластовым давлением на ней.

Относительные фазовые проницаемости, используемые в модели, учитывают закономерности фильтрации флюидов на микро- и макроуровнях. Лабораторным путём находятся относительные фазовые проницаемости для нефти при остаточной (связанной) воде или воды при остаточной нефти. Закономерности фильтрации на макроуровне основываются на слоистой неоднородности пласта.

Обоснование выбора типа модели

Геологическая модель месторождения состоит из:

- каркаса модели;
- 3D распределения литологии (коллектор/неколлектор);
- 3D распределения пористости;
- 3D распределения проницаемости;
- 3D распределения водонасыщенности.

Параметры пористости и проницаемости взяты из геологической модели. Для ускорения расчётов были отключены области моделей не участвующие в фильтрации нефти. Для гидродинамического моделирования залежи К2 Минерального месторождения была принята модель двухфазной фильтрации: нефть и пластовая вода.

Были заданы зависимости физико-химических (PVT) свойств для нефти выше давления насыщения. Объёмный коэффициент при начальном пластовом давлении равен обратной величине от пересчётного коэффициента.

Обоснование размерности сеток и схемы выделения слоёв моделей

Обоснование размерности расчётной сетки фильтрационных моделей складывалось из следующих требований:

- число ячеек в моделях должно позволять проводить многовариантные расчёты в приемлемые интервалы времени;
- межскважинное пространство в фильтрационной модели должно покрываться не менее чем тремя расчётными ячейками.

Размерность моделей указана в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение размерностей трёхмерных ГМ и ФМ

Объекты	Геологическая модель		Фильтрационная модель	
	размерность модели	средний размер ячейки	размерность модели	средний размер ячейки
К2	290 × 68 × 60	50 × 50 × 5,7 м	290 × 68 × 60	50 × 50 × 5,7 м

Обоснование физико-химических свойств пластовых флюидов

Физико-химические свойства пластовых флюидов задавались в соответствии с результатами лабораторных исследований глубинных и поверхностных проб и согласно принятой физической модели флюидов. Осреднённые значения свойств флюидов, используемые в моделях, представлены в таблице 5. Отсутствующие значения необходимых параметров были взяты по месторождениям-аналогам и по литературным данным.

Таблица 5 – Физико-химические свойства пластовых жидкостей

Параметры	Залежь К2
Начальная пластовая температура, °С	187
Начальное пластовое давление, МПа (приведённое к абсолютной отметке – 5500 м)	77,5
Давление насыщения нефти газом, МПа	28,3
Газовый фактор нефти, м ³ /т	325
Плотность нефти в поверхностных условиях, т/м ³	0,819
Вязкость нефти в пластовых условиях, МПа·с	0,187
Объёмный коэффициент нефти, доли ед.	1,96
Плотность воды в пластовых условиях, т/м ³	1,0
Вязкость воды в пластовых условиях, т/м ³	0,28
Сжимаемость, 1/МПа·10 ⁻⁴	
– нефти	–
– воды	–
– породы	–
Коэффициент вытеснения нефти водой, доли ед.	0,83

Относительные фазовые проницаемости и капиллярные давления

Определение ОФП на керне не проводились. Кривые относительных фазовых проницаемостей для месторождения рассчитаны по корреляциям Corey&Brooks с учётом конечных точек, а затем модифицированы для адаптации модели на историю разработки. Модифицированные кривые ОФП имеют вид аналогичный верхнемеловым залежам данного региона. Капиллярные давления в модели приняты равными нулю. Кривые ОФП по блокам I-III и II представлены на рисунках 18 и 19.

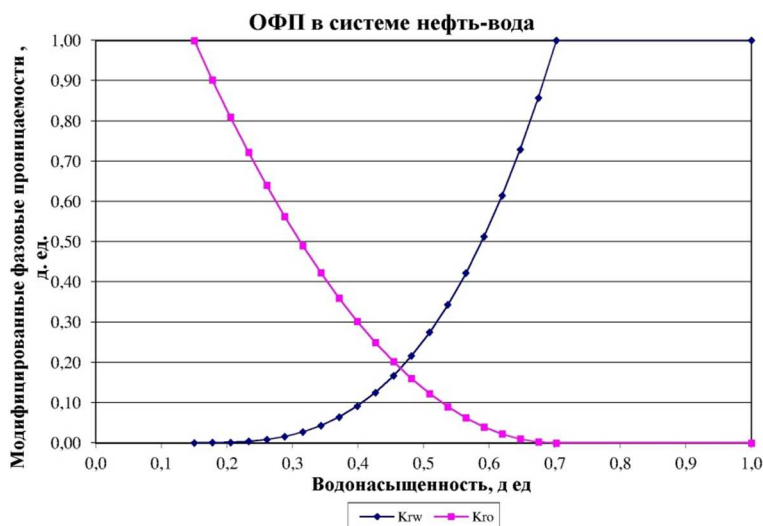


Рисунок 18 – Кривые ОФП в системе «нефть – вода» по блоку I-III

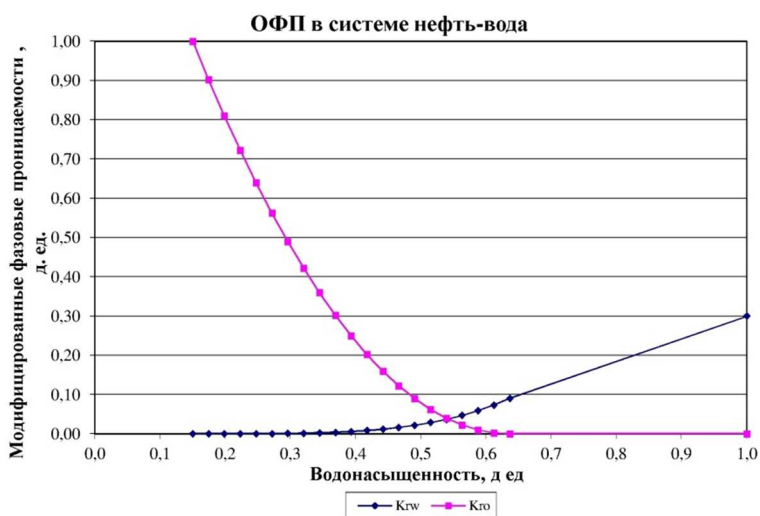


Рисунок 19 – Кривые ОФП в системе «нефть – вода» по блоку II

Начальные условия

Исходной информацией для моделирования скважин являлись координаты, данные инклинометрии, интервалы перфорации, коэффициенты продуктивности, технологические режимы работы скважин и коэффициенты эксплуатации, даты ввода и смены режимов работы скважин, данные о проведённых на скважинах геолого-технических мероприятиях.

При моделировании была проведена схематизация исходной информации. Реальные координаты преобразовывались в сеточные, и положение скважины определялось расположением вскрытых ею ячеек.

Уточнение параметров (адаптация) фильтрационной модели на основе анализа истории разработки

При построении ГДМ были учтены данные о режимах работы скважин, номера скважин, сеточные координаты скважин, данные о месячных отборах по скважинам и

по фазам (газ, вода), интервалы перфораций, коэффициент эксплуатации. В модели реализован контроль скважин по дебиту жидкости.

Целью адаптации моделей было добиться адекватного описания процессов фильтрации. Критерием качества адаптации являлось соответствие следующих расчётных параметров фактическим: дебиты нефти по скважинам и пластового давления.

Гидродинамические модели адаптированы к геологическим запасам нефти. Значения пористости и нефтенасыщенности в гидродинамической модели, площадь нефтеносности, объём нефтенасыщенных пород совпадают с фактическими параметрами. В модели реализован контроль скважин по дебиту жидкости. Динамика обводнённости скважин адаптировалась при помощи относительных фазовых проницаемостей и вертикальной анизотропии проницаемости.

Результаты адаптации фильтрационной модели месторождения приведены на рисунках 20 и 21.

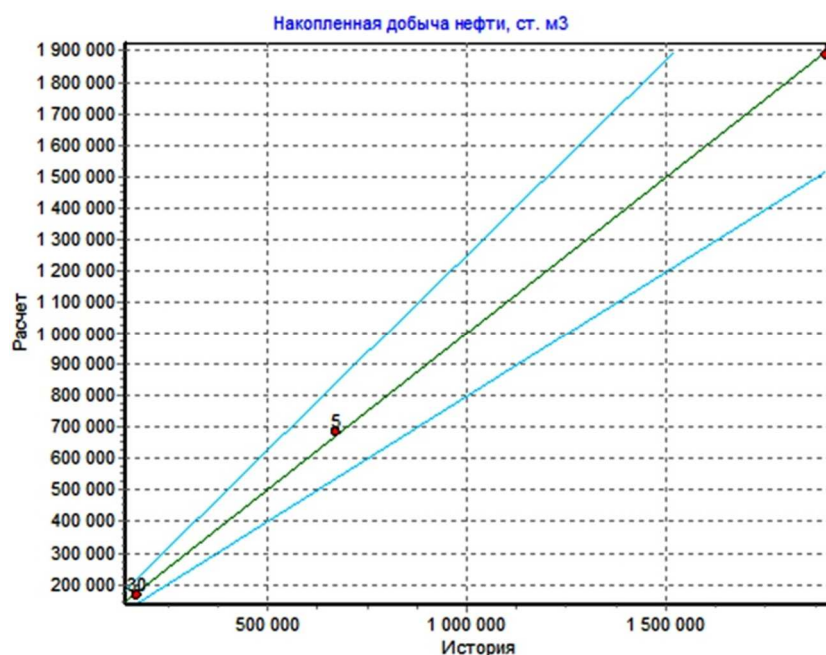


Рисунок 20 – Кроссплот по накопленной добыче нефти

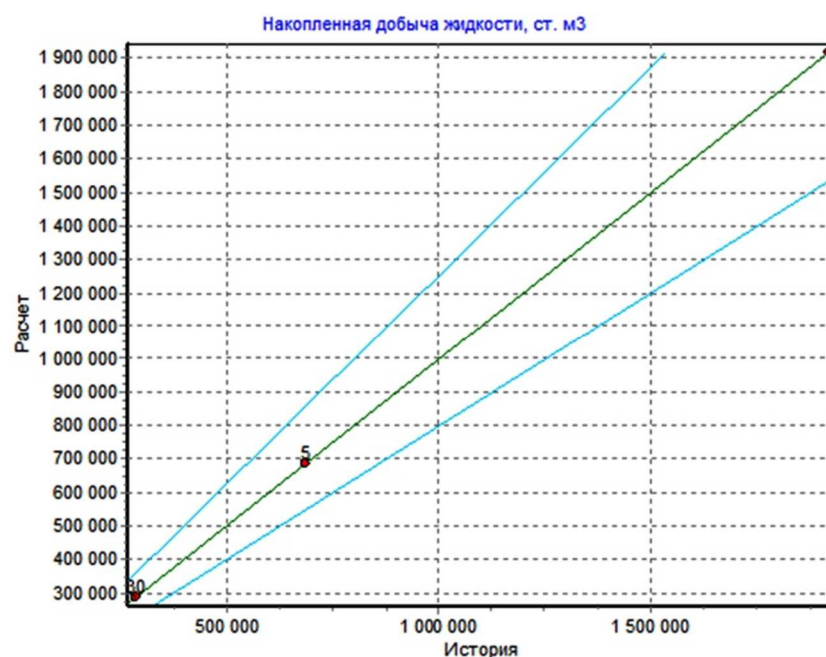


Рисунок 21 – Кроссплот по накопленной добыче жидкости

Литература:

1. Конкурсное предложение по разработке месторождения Минеральное / Отв. испол. Соловьёва В.Н. – Краснодар : РосНИПИтермнефть, 2001.
2. Авторский надзор за реализацией запроектированных систем разработки мезозойских залежей нефти в ЧР в 1999 и 2000 гг. – Грозный : ЦНИГР, 2001.
3. Авторский надзор за реализацией запроектированных систем разработки мезозойских залежей нефти в ЧР в 2001 году. – Грозный : ЦНИГР, 2002.
4. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
5. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин»: в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
6. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
7. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
8. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика : монографія. – Львів : Сполом, 2018. – 476 с.
9. Климов В.В., Савенок О.В., Лешкович Н.М. Основы геофизических исследований при строительстве и эксплуатации скважин на нефтегазовых месторождениях. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 274 с.
10. МаксUTOB Р.А., Добросок Б.Е., Зайцев Ю.В. Одновременная раздельная эксплуатация многопластовых нефтяных месторождений. – М. : Недра, 1974. – 232 с.
11. Попов В.В., Третьяк А.Я., Савенок О.В., Кусов Г.В., Швец В.В. Геофизические исследования и работы в скважинах : учебное пособие. – Новочеркасск : Лик, 2017. – 326 с.
12. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Шальская С.В. Интерпретация результатов гидродинамических исследований : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. – 203 с.
13. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
14. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – 267 с.
15. Афанасьев В.А., Захаров В.А., Захаров И.В., Матвеев С.Н., Цику Ю.К. Проблемы внедрения технологии одновременно-раздельной эксплуатации на многопластовых месторождениях России // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 94–97.
16. Баландин Л.Н., Грибенников О.А., Свиридова И.А. Текущее состояние работы добывающих скважин в зависимости от забойных давлений // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 65–69.
17. Березовский Д.А., Лаврентьев А.В., Савенок О.В., Кошелев А.Т. Разработка физико-химических моделей и методов прогнозирования состояния пород-коллекторов // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 84–86.
18. Вафин Р.В., Вафин Т.Р., Щекатурова И.Ш. Об опыте разработки совместно-разноименных пластов с применением технологии одновременно-раздельной эксплуатации // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 8. – С. 5–11.
19. Гаджиев А.А. О перспективах доработки низкопроницаемых зон // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 1. – С. 105–106.
20. Даценко Е.Н., Орлова И.О., Авакимян Н.Н. Техничко-економичеcкое обоснование выбора одновременно-раздельной эксплуатации верхнемеловой и нижнемеловой залежей Иванайского месторождения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 4. – С. 281–300.
21. Ивановский В.Н. Одновременно-раздельная эксплуатация и «интеллектуализация» скважин: вчера, сегодня, завтра // Инженерная практика. – 2010. – № 1. – С. 4–15.
22. Поварова Л.В., Яковина А.С., Даниелян Г.Г. Подсчёт запасов нефти и растворённого газа Ковалевского месторождения // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ч. 2. – С. 89–100.
23. Соловьёва В.Н., Колбунов М.Г., Савенок О.В. Метод разработки нефтяных месторождений с взаимодействующими объектами // Территория НЕФТЕГАЗ, 2012. – № 2 (февраль). – С. 62–69.
24. Цику Ю.К. Сургутнефтегаз: конструкции одновременно-раздельной и совместной добычи нефти // Нефтегазовая вертикаль. – 2013. – № 20. – С. 62–64.

References:

1. Competitive bid for development of Mineralnoye deposit / Executive Committee of the Russian Federation. Solovyova V.N. – Krasnodar : RosNIPItermneft, 2001.
2. Author's supervision over the implementation of the designed systems for the development of the Meozoic oil deposits in the Czech Republic in 1999 and 2000. – Grozny : TsNIPR, 2001.
3. Author's supervision over the implementation of the designed systems for the development of Mesozoic oil deposits in the Czech Republic in 2001. – Grozny : CNIPR, 2002.
4. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the construction of the oil and gas wells : textbook for university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie–South, 2011. – 603 p.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on discipline «Completion of oil and gas wells»: in 4 volumes: manual. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
6. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
7. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Scientific bases and practice of the oil and gas wells development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
8. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremiychuk R.S. Development of the naphtha and gas sverdlovin. Science and practice : monograph. – Lviv : Spole, 2018. – 476 p.
9. Klimov V.V., Savenok O.V., Leshkovich N.M. Fundamentals of geophysical research during construction and operation of wells at oil and gas fields. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 274 p.
10. Maksutov R.A., Dobroskok B.E., Zaitsev Yu.V. Simultaneous separate exploitation of the multi-layer oil fields. – M. : Nedra, 1974. – 232 p.
11. Popov V.V., Tretiak A.Y., Savenok O.V., Kusov G.V., Shvets V.V. Geophysical researches and works in wells : the manual. – Novocherkassk : Lik, 2017. – 326 p.
12. Savenok O.V., Arutyunyan A.S., Shalskaya S.V. Interpretation of the results of hydrodynamic studies : textbook. – Krasnodar : Published by FGBOU VO «KubGTU», 2017. – 203 p.
13. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremiichuk R.S. Oil and gas engineering in well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
14. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019. – 267 p.
15. Afanasiev V.A., Zakharov V.A., Zakharov I.V., Matveev S.N., Tsiku Yu.K. Problems of introduction of the technology of dual completion at the multi-fields of Russia // Oil industry. – 2011. – № 7. – P. 94–97.
16. Balandin L.N., Gribennikov O.A., Sviridova .A. Current operating condition of the producing wells depending on the bottomhole pressures // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2 at 2 p.m: Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 65–69.
17. Berezovsky D.A., Lavrent'ev A.V., Savenok O.V., Koshelev, A.T. Development of the physico–chemical models and methods for forecasting the reservoir rocks condition // Oil industry. – 2014. – № 9. – P. 84–86.
18. Vafin R.V., Vafin T.R., Shchekaturova I.S. About the experience of the development of the jointly-differentiated formations with the application of the technology of the simultaneous-separate operation // Oilfield business. – 2014. – № 8. – P. 5–11.
19. Gadzhiev A.A. About the prospects of the low–permeability zones modification // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2 at 2 pm: Development of oil and gas fields. – Part. 1. – P. 105–106.
20. Datsenko E.N., Orlova I.O., Avakimyan N.N. Feasibility study of the choice of the simultaneous development of the upper chalk and lower chalk deposits of the Ivanai field // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 4. – P. 281–300.
21. Ivanovskiy V.N. Simultaneous production and «intellectualization» of wells: yesterday, today, tomorrow // Engineering practice. – 2010. – № 1. – P. 4–15.
22. Povarova L.V., Yakovina A.S., Danielyan G.G. Calculation of oil reserves and dissolved gas of the Kovalevskoye field // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2 at 2 pm: Development of oil and gas fields. – Part. 2 – P. 89–100.
23. Solovyova V.N., Kolbunov M.G., Savenok O.V. Oil field development method with the interacting objects // NEFTEGAZ territory, 2012. – № 2 (February). – P. 62–69.
24. Tsiku Yu.K. Surgutneftegaz: structures of dual completion and joint oil production // Oil and Gas Vertical. – 2013. – № 20. – P. 62–64.

УДК 621.891:622.67

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PRESSING ON PHYSICAL PROPERTIES OF MULTICOMPONENT COMPOSITES

Юсубов Фикрет Фахраддин

аспирант,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
fikratyusub@gmail.com

Аннотация. В данной статье проведен сравнительный анализ параметров технологического режима, используемых при разработке многокомпонентных порошковых композиционных материалов. Были изучены режимы холодного и горячего прессования, а также влияние пластификаторов и смазочных материалов на качество композиций.

Ключевые слова: порошковые композиты, прессование, формование, спекание, пластификаторы, смазочные материалы, плотность, твердость.

Yusubov Fikrat Fakhraddin

Ph.D. student,
Azerbaijan State
Oil and Industry University
fikratyusub@gmail.com

Annotation. In this article a comparative analysis of the technological regime parameters used in the development of multicomponent powder composite materials has been conducted. Cold and heated pressing modes, as well as plasticizers and lubricants influence of the quality of compositions, have been studied.

Keywords: powder composites, pressing, molding, sintering, plasticizers, lubricants, density, hardness.

Основная суть порошковой металлургии – разработка новых, более качественных и экономичных материалов, чем традиционные материалы. Этот метод позволяет получать специальные жаропрочные и износостойкие, стабильные магнитные и другие материалы [1]. Технологические последовательности в сочетании с дополнительными мерами, такими как термическая или поверхностная обработка, должны быть синтезированы или приготовлены после прессования порошка под определенным давлением, являются основой порошковой металлургии [2]. При прессовании материала в виде порошка, он хранится в течение определенного периода времени под давлением металлической пресс-формы, и этот способ помогает укреплению шихты при формовании.

В настоящей статье были исследованы физические свойства холодно- и горячепрессованных образцов. Для сравнения были также исследованы холодного прессования образцы и спекания. Состав композиционных материалов, использованных в нашем исследовании, составляет 25 % барита, 25 % фенолформальдегида, 7 % оксида алюминия, 5 % синтетического валлостонита, 10 % свинца, 10 % олова, 7 % меди-графита (80 % Si 20 % C), 5 % оксид кремния и небольшие количества оксида магния и сульфида молибдена. Кроме того, для улучшения теплопроводности в состав также была включена рубленая латунная стружка.

Образцы сначала перед прессованием были измельчены в лабораторной мельнице а затем смешаны механически. Продукты порошка, подвергнутые измельчению и смешиванию, были использованы для приготовления композитов путем разделения их через сито с размером частиц 50 мкм и ниже.

Хотя разделение фаз в порошках, оцениваемое с помощью дифрактометра (TD-3500) не обнаруживало серьезной разницы фаз во время перемешивания, дифрактограммы на рисунке 1 показывают, что существует небольшая разность фаз при перемешивании, выполняемом при 60 об/мин в течение 8 часов, что можно объяснить химической реакцией, вызванной тепловыми эффектами трения частиц во время смешивания. Высокие пики на дифрактограмме, показанной на рисунке 1, относятся к Al, O и Ba. Метастабильная фаза играла доминирующую роль для всех образцов на начальном этапе механического смешивания. Но в зависимости от содержания, после 40–60 мин. начали проявляться небольшие фазовые превращения в образцах. Исследования показали, что аморфная фаза присутствует в смесях при взаимодействиях низкой интенсивности. Квазикристаллическая фаза наблюдалась в смешанных образцах с высокой интенсивностью. Прессование порошка с содержанием 0,1–0,15 масс. %

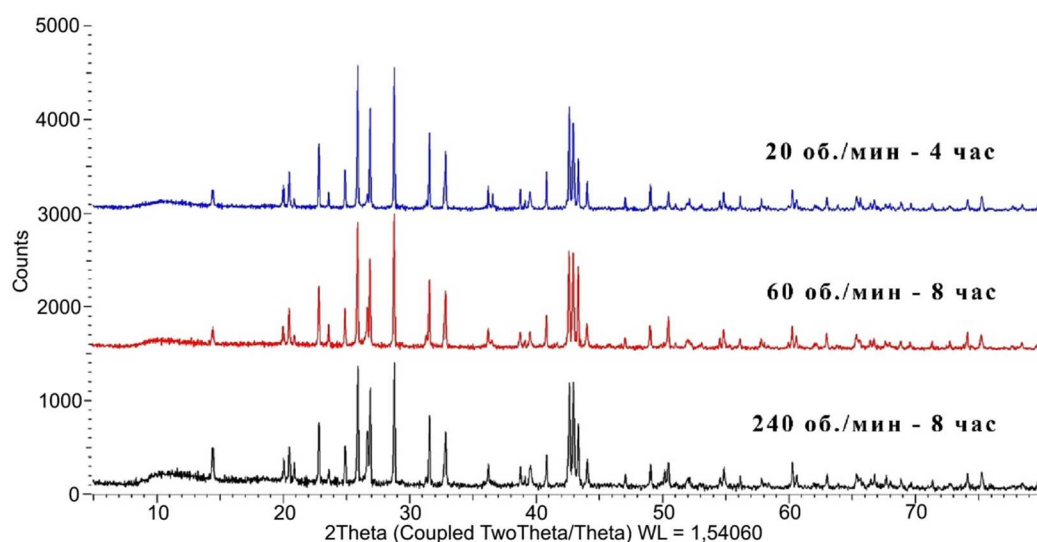


Рисунок 1 – Дифрактограммы механически смешанных компонентов в разных режимах

твердого смазочного материала (графит, молибден дисульфид, парафин и т.д.), уменьшает трение между частицами и поверхностями сжатия, что приводит к падению давления частиц на стенку матрицы [3]. Во время прессования контакт между частицами увеличивается, поры уменьшаются, а отдельные частицы деформируются или повреждаются. Твердость полученного образца увеличивается с увеличением давления прессования под механическим воздействием. Поскольку на поверхности образцов приготовленных без пластификатора, наблюдались трещины и структура была неудовлетворительной, в состав были добавлены дополнительные элементы после чего повторно исследованы. Кроме того, в ходе работ было выявлено, что смазка на стенке пресс-формы оказала значительное влияние на качество образцов. По этой причине был проведен сравнительный анализ для выявления различий в пластификаторах и смазочных материалах в других технологических режимах. Прессование проводилось в холодной форме (P_1 – 10 МПа) и режиме нагревания (P_2 – 25,5 МПа). Формование образцов также проводилось в сочетании с P_1 – 25,5 МПа и P_2 – 10 МПа для определения различий в холодном и горячем давлениях прессования. Только давление, указанное в образце № 11, было взято в два раза меньше. В качестве пластификаторов использовались глицерин, борная кислота и воск (табл. 1). Чтобы легко извлечь образец из пресс-формы как смазка использовались парафин, глицерин и тальк.

Таблица 1 – Пластификаторы, используемые при изготовлении композитов

№ образца	Глицерин, %	Борная кислота, %	Воск, %
5	9,3		
6		14	
7	8,5		
8	20		
9	11,4		
10	10,0		
11	9,0		
12	10,8		
13	13,3		
14			4,3
15		11,2	
16	9,8		
17	9,6		
18	13,2		

Информация о технологических режимах, используемых при приготовлении образцов, приведена в таблице 2. На первом этапе порошковые продукты прессовали в холодную форму, а затем прессованную шихту помещали в муфельную печь и нагревали при различных температурах. На последнем этапе нагретые образцы снова прессовали и держали под прессом в течение определенного периода времени. В последствии образцы, извлеченные из пресса, были охлаждены при комнатной температуре и исследованы.

Таблица 2 – Технологические режимы, используемые для изготовления материалов

№ образца	Температура нагрева (°C)	Держания в прессе (мин.)	Холодной (P_1) и горячей (P_2) прессования	Спекания	Пластификаторы	Смазывание
1		30	P_1	150 °C (180 мин.)		
2	150–60 мин.		$P_1 < P_2$	150 °C (60 мин.)		
3	100–20 мин.	30	$P_1 < P_2$	150 °C (105 мин.), 190 °C (15 мин.)		
4	160–35 мин.	30	$P_1 < P_2$	270 °C (270 мин.)		
5	160–35 мин.	30	$P_1 < P_2$	160 °C (2 час.)	Глицерин	Парафин
6	160–35 мин.	30	$P_1 \leq P_2$		Борная кислота	Парафин
7	160–30 мин.	20	$P_1 < P_2$		Глицерин	Парафин
8	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Парафин
9	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Тальк
10	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Тальк
11	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (1)		Глицерин	Тальк
12	160–30 мин.	30	$P_1 > P_2$		Глицерин	Тальк
13	160–30 мин.	20	$P_1 < P_2$ (2)		Глицерин	Парафин
14	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (3)		Воск	Парафин
15	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (5)	160 °C (1 час.)	Борная кислота	Парафин
16	160–15 мин.	20	$P_1 < P_2$ (4)		Глицерин	Глицерин
17	160–50 мин.	40	$P_1 < P_2$ (2)		Глицерин	Парафин
18	160–20 мин.	20	$P_1 > P_2$ (1)		Глицерин	Парафин + Тальк

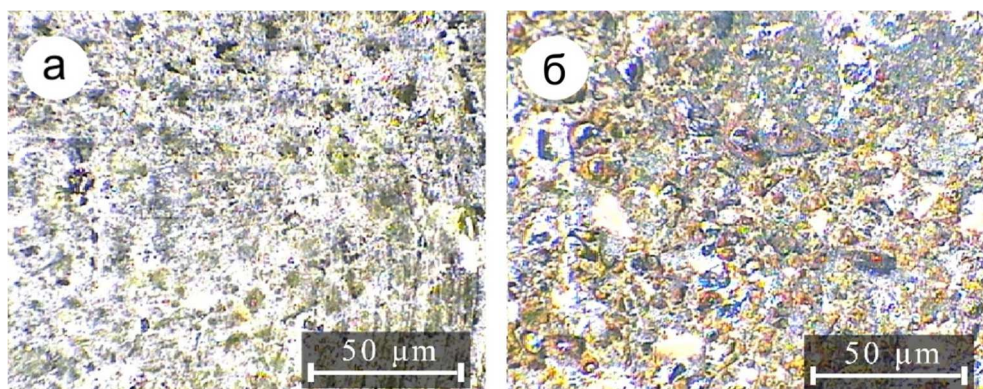


Рисунок 2 – Структура поверхности образцов после: а) холодного и б) горячего прессования

Данные по физическим свойствам полученных композиционных материалов приведены в таблице 3. Измерения твёрдости проводились на приборе Бринелля с нагрузкой 62,5 кг·г и стальным шариком диаметром 2,5 мм. Плотность образцов измеряли методом Архимеда (ISO 2738).

Изучение физических свойств композиционных материалов, полученных с использованием различных режимов, позволило определить температуру и продолжительность спекания композиции, влияние режимов холодного и горячего прессования, а также пластификаторов. Пластификаторы и смазки не использовались в образцах №№ 1–5. Среди композиций, полученных в различных сочетаниях, наиболее удовлетворительными были образцы № 9, 16 и 18. Во всех трех образцах показатели плотности и твердости были выше, чем в других образцах.

Таблица 3 – Физические показатели образцов

№ образца	Твёрдость (НВ)		Плотность (г/см ³)	
	Прессования	Спекания	Прессования	Спекания
1	34,9	34,1	2,318	2,255
2	40,5		2,111	
3	41,5		2,111	
4	40,5	40,7	2,371	2,305
5	40,5		2,181	
6	42,2		2,335	
7	42,1		2,376	
8	43,8		2,420	
9	42,9		2,315	
10	42,2		2,366	
11	41,7		2,239	
12	40,5		2,359	
13	40,9		2,346	
14	41,4		2,265	
15	43,1	35,1	2,416	2,329
16	33,6		1,997	
17	43,3		2,413	
18	41,4		2,379	

Анализ результатов помог определить основные факторы способствующие высоким физическим показателям для выше перечисленных образцов. Было обнаружено, что время нагревания в печи, выпускация пресса для выделение газов при повышении давления и увеличения плотности являются основными факторами, влияющими на качество образцов. В таблице показано количество раз, выпускация пресса в скобках в секции холодного и горячего прессования. Кроме того, различия в образцах в зависимости от типа и количества пластификаторов также наблюдалось. Таким образом, добавление борной кислоты и воска не было эффективным при удалении трещин на поверхности и структуре образцов. Хотя борная кислота улучшал образование компонентов, когда она составляет менее 10 %, с помощью оптического микроскопа было обнаружено, что на поверхности имеются поры при наблюдении (рис. 3). Использование более 10 % неэффективно.

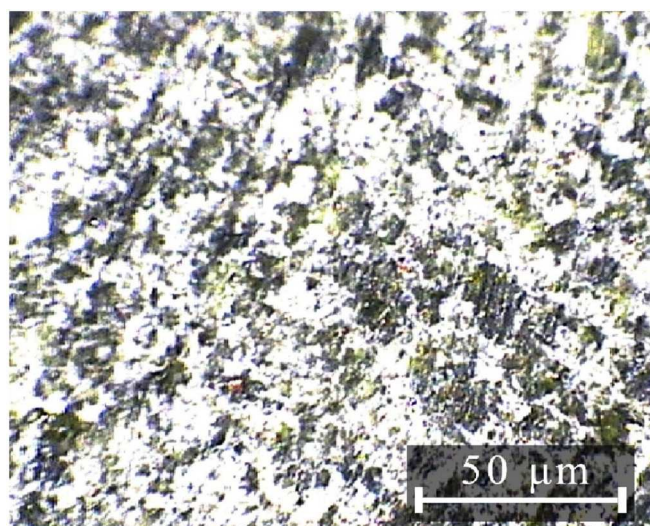


Рисунок 3 – Структура поверхности образца № 7

Использование воска также не дало никакого эффекта. Однако было показано, что глицерин очень эффективен в исправлении трещин. Как видно из таблицы 3, не было существенной разницы в давлениях нагретых или холодных прессований, но плотность была выше, когда холодное давление сжатия было высокое. Наиболее эффективное влияние глицерина было обнаружено в образцах, в которых глицерин составлял 10–12 %. Снижение физических показателей образцов было обнаружено, когда глицерин был более 12 %.

В образце № 12 оба давления были снижены, и в результате было установлено, что показатель твёрдости меньше, чем у других образцов. Хотя было более эффективно держать смесь вместе с пресс-формой в печи при 160 °С в течение 1 часа, но не исследовался более 1 часа. Также показатели, полученные при температурах выше 160 °С и ниже, тоже были невысокими. Сброс давления несколько раз во время процесса сжатия позволял газам и парам выходить из внутренних зон во время поликонденсации фенола и формальдегида. Однако плотность образцов была выше в зависимости от количества выпусков прессования и повторных сжатий. Спекания проведенное в образцах №№ 2, 3, 4, 5, 12, 16 при температурах от 150 до 270 °С после прессования не дали желаемых результатов.

Вывод

Исследования показали, что основными факторами, влияющими на приготовленные в различных режимах образцы, являются время спекания и выпуск прессования и повторное сжатие в процессе формования. Наиболее эффективным из пластификаторов был глицерин, использованный в количестве 10–12 %. Использование в более высоком проценте было неэффективно. Кроме того, парафин, нанесенный на стенку пресс-формы в качестве смазки, был наиболее эффективным и положительно влиял на формирование гладкой поверхности.

Литература:

1. Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 385 с.
2. Son N. Trinh, Shankar Sastry. Processing and Properties of Metal Matrix Composites // Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study, 2016. – P. 1–15.
3. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы : учебное пособие. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.

References:

1. Girshov V.L., Kotov S.A., Cemenko V.N. Modern technologies in powder metallurgy : textbook. – St. Petersburg : Izd-in Polytechnic Un-ta, 2010. – 385 p.
2. Son N. Trinh, Shankar Sastry. Processing and Properties of Metal Matrix Composites // Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study, 2016. – P. 1–15.
3. Tyalina L.N., Minayev A.M., Pruchkin V.A. New composite materials : textbook. – Tambov : GOU VPO TGTU, 2011. – 80 p.

УДК 72.01

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛОТОЙ ПРОПОРЦИИ В АРХИТЕКТУРЕ

APPLICATION FEATURES GOLD PROPORTIONS IN ARCHITECTURE

Дворная Зинаида Львовна
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
dzl170919@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена истории использования золотого сечения в архитектуре как наиболее гармоничного соотношения пропорций. Описывается применение золотой пропорции в западноевропейской и в русской архитектуре, влияние закона золотого сечения на древнерусскую систему мер.

Ключевые слова: золотая пропорция, последовательность чисел, проектирование зданий, архитектурный памятник, золотое сечение.

Dvornaya Zinaida Lvovna
Student,
Kuban state University
technological University
dzl170919@yandex.ru

Annotation. The article is devoted to the history of the use of the Golden section in architecture as the most harmonious ratio of proportions. The application of Golden proportion in Western European and Russian architecture, the influence of the law of the Golden section on the old Russian system of measures are described.

Keywords: Golden proportion, sequence of numbers, design of buildings, architectural monument, Golden section.

Понятие «золотое сечение», иначе называемое «золотая пропорция», известно в научном мире с древнейших времен. Оно представляет собой не что иное как деление отрезка на неравные части таким образом, чтобы длина всего отрезка относилась бы к большей части, как сама большая часть относилась бы к меньшей.

Существуют два варианта выражения этой пропорции. Вариант первый: если принять длину отрезка за 1, то большая часть имеет значение 0,618, а меньшая – 0,382. Второй вариант выражения данной пропорции следующий: отношение большей части к меньшей равно 1,618.

Благодаря описаниям, представленным учеными-исследователями на протяжении многих веков, стало известно, что золотое сечение можно обнаружить во многих объектах природы. Так например, золотые пропорции наблюдаются в строении тел животных, в анатомических особенностях моллюсков; в структуре растений, а именно, в пропорциях стеблей и корневых систем у кустарников и трав.

В математике золотая пропорция присутствует в последовательности чисел, традиционно носящей название «ряд Фибоначчи». Ряд Фибоначчи назван в честь известного средневекового математика Леонардо Пизанского, именуемого впоследствии Фибоначчи.

Эта числовая последовательность представляет собой прогрессию, в которой каждый последующий член равен сумме двух предыдущих. Особенность данного ряда состоит в том, что соотношение смежных чисел равно значению золотого сечения, а именно – 0,618. Например: соотношение $21 : 34 = 0,618$.

Золотая пропорция с древних времен у разных народов использовалась при возведении многих зданий и сооружений. Первым ученым, который ввел понятие «золотое сечение», был древнегреческий математик Евклид.

Считалось, что золотое сечение в архитектуре – наиболее гармоничное соотношение пропорций, имеющее универсальный характер. Это означает, что данный метод можно использовать при проектировании зданий любого назначения и любых форм. Так, рассматриваемую пропорцию можно найти в конструкциях таких известных сооружений древности, как Парфенон в Афинах и пирамида Солнца в Мексике.

Особый интерес к золотому сечению архитекторы стали проявлять в эпоху Возрождения. «Изучению золотого деления много внимания уделял Леонардо да Винчи, так как он видел, что у итальянских художников очень мало знаний в этой области не-

смотря на большой опыт. Он, разделяя стереометрическое тело, образованное правильными прямоугольниками, получал соотношения сторон прямоугольников в золотом делении. Параллельно с ним над этой темой работал выходец из Германии – Альбрехт Дюрер» [1, с. 1174].

Следует отметить, что Альбрехт Дюрер известен миру прежде всего как талантливый немецкий живописец эпохи средневековья. Помимо создания выдающихся живописных работ Дюрер прославился в качестве графика, разработавшего оригинальный способ построения правильного пятиугольника, все диагонали которого делят друг друга на отрезки, связанные между собой золотой пропорцией.

Научные работы гениального Леонардо да Винчи и Альбрехта Дюрера способствовали активизации использования в средневековой Западной Европе золотого сечения как в художественном творчестве при создании живописных полотен, так и в архитектуре при проектировании различных зданий и сооружений.

В отечественной архитектуре также найдется немало примеров возведения зданий и сооружений с применением золотого сечения. Чтобы это лучше понять, следует прежде всего обратиться к древнерусской системе мер.

Основной измерительной единицей в Древнерусском государстве была сажень, равная размаху рук в стороны. Она делилась на несколько видов в зависимости от числового значения. Общее количество сажени насчитывалось более десяти. Наиболее употребительными были: мерная сажень, малая сажень, косая новгородская сажень, косая великая сажень. Более мелкими единицами, производимыми от сажени, считались следующие: полсажени, локоть, пядь, пясть, вершок.

В русском зодчестве учитывалось отношение мерной полсажени к малой сажени, которое, как известно, было равно золотому сечению.

Самыми известными сооружениями, построенными с учетом золотой пропорции, являются: церковь Покрова Богородицы на Нерли и прославленная церковь Вознесения в Коломенском недалеко от Москвы.

Церковь Покрова Богородицы на Нерли, расположенная во Владимирской области в полутора километрах от поселка Боголюбово, построена в 13 веке, реставрационные работы проводились в 17 веке.

Исходным размером церкви Покрова является меньшая сторона подкупольного прямоугольника, равная 308,7 см. Необходимо также отметить, что закон золотого сечения прослеживается в главных вертикалях, определяющих силуэт храма: в высоте основания и в высоте барабана. Следует подчеркнуть, что диаметр барабана также относится в золотой пропорции к высоте барабана.

Церковь Вознесения в Коломенском, построенная в 1532 году, представляет собой один из первых каменных шатровых храмов, построенных в России в эпоху Средневековья.

Строительство церкви Вознесения выполнялось на основе косой новгородской и малой (тмутараканской) сажени по горизонтали, а также малой и мерной сажени по вертикали. Отношение одной мерной сажени к двум малым тмутараканским равно золотому сечению [2].

Среди более поздних архитектурных памятников, построенных с использованием пропорций золотого сечения, стоит отметить следующие: Голицинскую больницу в Санкт-Петербурге, здание сената в Санкт-Петербурге, дом Пашкова в Москве.

Итак, золотое сечение нашло применение при строительстве многих известных памятников архитектуры, дошедших до наших дней. Проектируя те или иные сооружения, архитекторы стремились добиться не только максимальной прочности своих творений, но и эстетической привлекательности их в качестве ценных объектов зодчества.

Необходимо подчеркнуть, что эстетика в архитектуре выражается прежде всего в гармонии, достигаемой пропорциональностью форм, соразмерностью здания и всех его частей.

Таким образом, использование закона золотого сечения в разные периоды становления и развития мировой архитектуры способствовало проектированию и возведению самых разнообразных по назначению зданий, имевших одну объединяющую их особенность: наиболее гармоничные и эстетически привлекательные формы.

Именно с точки зрения эстетики и безупречности форм старинные архитектурные сооружения, в которых учтены золотые пропорции, составляют часть мирового культурного наследия. Они представляют собой и в настоящее время памятники архитектуры, интересные современным ценителям зодчества и как отражение эпохи, и как результат цивилизационных процессов, но прежде всего – как синтез красоты и гармонии.

Литература:

1. Мишнева А.А. Золотое сечение в архитектуре : Образование, Наука, Производство / VIII Международный молодежный форум. – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 1173–1179.

2. Козодаева Н.В. Эволюция системы мер в архитектуре, математика зодчего // Аналитика культурологии. – Тамбовский государственный университет им. Г.П. Державина, 2011. – № 3(21). – С. 25–36.

References:

1. Mishneva A.A. Golden section in architecture : Education, Science, Production / VIII International Youth Forum. - Belgorod State Technological University V.G. Shukhov, 2016. – P. 1173–1179.

2. Kozodaeva N.V. Evolution of the system of measures in architecture, mathematics of the architect // Analytics of culturology. – Tambov State University G.R. Derzhavin, 2011. – № 3(21). – P. 25–36.

УДК 528

**ОБЗОР ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕОДОЛИТОВ И ТАХЕОМЕТРОВ,
ВЫЯВЛЕНИЕ ИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ КАЧЕСТВ**

**REVIEW OF ELECTRONIC THEODOLITES AND TACHEOMETERS,
IDENTIFYING THEIR POSITIVE AND NEGATIVE QUALITIES**

Петренков Денис Васильевич

ассистент,
кафедра кадастра и геоинженерии,
Кубанский государственный
технологический университет
d.petrenkov93@mail.ru

Дегтярева Анастасия Владимировна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
nastya.degtyareva.2013@mail.ru

Левкова Виктория Алексеевна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
Haukyun.kumiko@gmail.com

Анищенко Елизавета Валерьевна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
kykmber.ru1917@icloud.com

Акопян Георгий Тариелович

Лаборант-исследователь
кафедры кадастра и геоинженерии,
Кубанский государственный
технологический университет
Georg00023@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору современных тахеометров и электронных теодолитов, а также выявлены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: электронный, теодолит, тахеометр.

Petrenkov Denis Vasilyevich

Assistant,
department of the inventory
and geoengineering,
Kuban state technological university
d.petrenkov93@mail.ru

Degtyareva Anastasia Vladimirovna

Student,
Kuban state technological university
nastya.degtyareva.2013@mail.ru

Levkova Victoria Alekseevna

Student,
Kuban state technological university
Haukyun.kumiko@gmail.com

Anishchenko Elizaveta Valerievna

Student,
Kuban state technological university
kykmber.ru1917@icloud.com

Akopyan Georgiy Tarielovich

Laboratory assistant-researcher
of the cadastre
and geoengineering department,
Kuban State Technological University
Georg00023@yandex.ru

Annotation. This article is devoted to a review of modern tacheometers and electronic theodolites their merits and demerits are revealed.

Keywords: electronic, theodolite, total tacheometer.

К новому поколению высокоточных геодезических приборов относятся электронные теодолиты и тахеометры. Они активно используются в геодезии и проектировании для изыскательных и измерительных работ и позволяют автоматизировать процесс измерений.

Рассмотрим подробнее электронные теодолиты.

Электронный теодолит – это современный геодезический прибор, в котором угломерные градуированные круги заменены электронными датчиками и жидкокристаллическим дисплеем [1, с. 276].

В свою очередь теодолиты классифицируются на разные типы.

По точности:

- высокоточные или инженерные (показатель средней квадратичной ошибки равен 0,5"–1"). Они используются чаще всего при создании геодезических сетей по государственному заказам;

- точные или строительные (показатель средней квадратичной ошибки равен 2"–10"). Они используются для выполнения работ повышенной точности в строительной сфере и прикладной геодезии, таких как: выверка планового положения оснований при установке крупногабаритного оборудования, контроль монтажа протяженных сооружений (мостов дамб и т.д.), фиксация отклонения элементов конструкции при эксплуатации зданий и сооружений в ходе наблюдения за деформациями;

- технические (показатель средней квадратичной ошибки равен 15"–30"). С их помощью осуществляются все основные виды геодезических работ в строительстве, такие как: прокладка теодолитных ходов, разметка котлованов, разбивка плановых осей, исполнительная съемка на промежуточных этапах строительства [2, с. 13].

Для удобства пользователей теодолиты, в зависимости от точности окрашивают в различные цвета. Точные имеют оранжевую окраску, а технические – серую.

Также по конструкции электронный теодолит может быть с компенсатором вертикального круга или без него [3, с. 18]. Чаще всего они имеют двух осевой компенсатор, который позволяет компенсировать отклонение вертикальной и горизонтальной оси теодолита. Кроме того, теодолит может быть с применением отвеса лазерного или оптического типа. Он предназначен для удобства центрования [4].

Как и все измерительные приборы, электронный теодолит имеет свои достоинства и недостатки. Рассмотрим некоторые из них.

Одним из достоинств электронного теодолита можно выделить наличие дисплея, что позволяет исключить визуальную ошибку при снятии отсчета, а также сократить время измерения. Это гораздо удобнее нежели угломерные градуированные круги, которыми оснащен оптический теодолит.

Следующее достоинство, которое хотелось бы выделить это возможность использовать электронный теодолит в условиях пониженной освещенности, что позволяет ускорить геодезические работы.

Следует также отметить, что электронный теодолит прост в эксплуатации и на нем может работать человек без специального профильного образования. А также, отснятые данные могут быть переданы на внешний носитель или записаны во внутреннее запоминающее устройство.

Говоря о недостатках, мы можем выделить, что температурный диапазон у электронных теодолитов ограничен. Это связано с тем, что жидкокристаллический дисплей замерзает при температуре ниже -20°C . Этот недостаток делает невозможным проведение геодезических работ данным прибором в условиях низких температур.

Следующий недостаток, который хотелось бы выделить это зарядка прибора от аккумулятора, ведь это приводит к необходимости иметь доступ к электрической сети, что не удобно в случае, когда нужно выполнять длительные геодезические работы [5, с. 172–173].

Далее хотелось бы рассмотреть электронные тахеометры.

Электронный тахеометр – это multifunctional и универсальный измерительный прибор, включающий в себя угломерную часть, светодальномер и встроенную ЭВМ [6, с. 27]. Говоря другими словами, он представляет собой некий симбиоз теодолита и компьютера [13].

Угломерная часть сконструирована на базе кодового теодолита. С ее помощью определяются вертикальные и горизонтальные углы. Светодальномер позволяет измерять расстояние до отражателя, который устанавливается на штативе или вышке, которую можно переносить с точки на точку. Встроенная ЭВМ обеспечивает решение ряда различных геодезических задач благодаря встроенному набору необходимых прикладных программ. Кроме того, ЭВМ обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение, ввод и сохранение данных о станции (координаты, высота прибора, номер точки, имя оператора, дата, время, погода). Помимо этого, электронный тахеометр оснащен панелью управления, на которой расположена клавиатура, позволяющая производить управление процессом измерений и процессом ввода информации, который можно производить при помощи дистанционного пульта [7, с. 108–109]. Также прибор может иметь световой указатель направления створа, что заметно облегчает установку отражателя по направлению визирования. Геодезические задачи решаются с учетом поправок за кривизну Земли, температуру и давление, разность высот штативов прибора и отражателя. Так же следует учитывать систематические ошибки измерения горизонтальных углов.

Повысить точность прибора можно, введя поправки за систематические ошибки или несколько усложнив методику измерений [8, с. 3].

Основным предназначением электронного тахеометра является создание планов местности в заданном масштабе с нанесением особенностей рельефа. Однако это не все задачи, которые можно решать при помощи данного прибора. С его помощью решаются такие инженерные задачи как: вычисление горизонтальных и вертикальных углов; определение азимута, горизонтальных проложений, а также превышений и высот точек; определение приращения координат, плоских и пространственных координат точек, недоступных для установки отражателя, что позволяет измерить расстояние при наличии препятствий в виде рек, обрывов и т.д.; определение высот недоступных объектов; определение дирекционных углов; вычисление координат по результатам засечек; определение трехмерных координат реечных точек; вынос в натуру трехмерных координат точек; измерение со смещением по углу, вычисление площадей и т.д. [1, с. 277].

Электронные тахеометры подразделяют на основе способа регистрации сигнала измерителем расстояния. Они бывают двух типов: для определения расстояний используется разница в фазах луча или для измерения расстояний до объекта вычисляется время прохождения луча лазера [9].

Так же рассмотрим достоинства и недостатки электронных тахеометров.

Среди достоинств в первую очередь хотелось бы выделить такое положительное качество, как непродолжительность измерений. Это позволяет заметно сократить время проведения геодезических изысканий [10, с. 281].

Еще одним достоинством, которым также обладают электронные теодолиты является возможность работы в темное время суток. Однако, в отличие от теодолитов при помощи тахеометра можно производить работы и в неблагоприятных погодных условиях. В данных о приборе указывается степень пылезащиты и влагозащиты обозначаемая относительным коэффициентом, показывающим насколько прибор защищен от внешних факторов [11, с. 93].

Так же необходимо выделить такое достоинство тахеометров, как возможность производить высокоточные измерения и решать широкий спектр задач, которые были описаны выше.

Следует так же отметить, что данный прибор дает возможность работы в одиночку, а также передавать данные на электронные носители. Широкий интерфейс позволяет загружать координаты из ПК для выноса в натуру зданий [12, с. 270].

Недостатки тахеометра схожи с недостатками электронного теодолита. Это так же ограниченный диапазон рабочих температур, по причине того, что прибор оснащен жидкокристаллическим дисплеем, зависимость от электрической сети, т.к. необходимо подзаряжать аккумулятор. Однако, следует добавить, что тахеометр обладает своим недостатком – высокие требования по программному обеспечению.

Подводя итог, хотелось бы сравнить, в чем различия между электронным теодолитом и тахеометром. Хоть они и выполняют одинаковые задачи: нахождение в пространстве координат нужных позиций и вынос на местность проектных точек, тахеометр обладает богатым функционалом. Помимо того, что он может выполнять функции электронного теодолита и тахеометра, в дополнение к этому, благодаря встроенному дальномеру стали возможны нахождение линейных величин без использования делительных измерительных приборов, таких как, например, лазерный дальномер. Так же, заметно упрощены расчеты, ведь многие тахеометры автоматически производят необходимые вычисления, кроме того все данные хранятся в памяти устройства и при необходимости воспроизводятся. Однако, если для работы достаточно того функционала, которым обладает электронный теодолит, то необходимость в приобретении тахеометра отсутствует, в связи с тем, что разница в стоимости между теодолитом и тахеометром достаточно велика.

Литература:

1. Петренков Д.В., Климова П.О. Электронные теодолиты и тахеометры // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 276–279.
2. Куштин В.И. Конспект лекций по дисциплине «Высшая геодезия». – 2017. – С. 31.

3. Макаров К.Н. Основы инженерной геодезии : учебное пособие для студентов очно-заочной и заочной форм обучения строительных специальностей. – 2008. – С. 93.
4. URL : <http://www.geototal.ru/articles-n-video/yelektronye-i-opticheskie-teodolity-v-chem-raznica.html> (дата обращения 25.06.2019).
5. Шишкина В.А. [и др.]. Сравнительный анализ современных электронных теодолитов, тахеометров и лазерных дальномеров // Научные труды КубГТУ. – 2016. – № 12. – С. 170–179.
6. Атрошко Е.К. [и др.]. Электронные геодезические приборы и работа с ними : учеб.-метод. пособие для вузов. – 2008. – С. 91.
7. Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия : учебник для вузов. – 2004. – С. 108–109.
8. Гура Д.А., Аветисян Г.Г., Желтко Ч.Н. Об исследованиях угломерных ошибок горизонтального круга электронных тахеометров разложением в ряды Фурье // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2011. – № 2. – С. 3–6.
9. URL : <http://fb.ru/article/324806/elektronnyie-teodolity-i-taheometryi> (дата обращения 24.06.2019).
10. Петренков Д.В., Лопатченко А.Н. Электронные тахеометры: общие сведения, виды и принцип работы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 280–283.
11. Гура Т.А., Глазков. Точность и надежность электронных тахеометров // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2017. – С. 90–99.
12. Петренков Д.В. [и др.]. Применение электронных тахеометров для производства тахеометрической съемки // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 269–272.
13. Калинин В.А., Грибкова Л.А. Изучение тахеометра: от простого к сложному // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 231–234.

References:

1. Petrenkov D.V., Klimova P.O. Electronic theodolites and tacheometers // Science. Techniques. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 2. – P. 276–279.
2. Kushtin V.I. Summary of lectures on the discipline «Higher Geodesy». – 2017. – P. 31.
3. Makarov K.N. Basics of Engineering Geodesy : textbook for full-time and part-time students of construction specialties. – 2008. – P. 93.
4. URL : <http://www.geototal.ru/articles-n-video/yelektronye-i-opticheskie-teodolity-v-chem-raznica.html> (date of application 25.06.2019).
5. Shishkina V.A. [et al.]. Comparative analysis of the modern electronic theodolites, tacheometers and laser rangefinders // Research papers of Kuban State Technical University. – 2016. – № 12. – P. 170–179.
6. Atroshko E.K. [et al.]. Electronic geodetic devices and work with them : educational-methodical manual for higher education institutions. – 2008. – P. 91.
7. Kiselev M.I., Mikhelev D.S., Feldman V.D. Engineering geodesy : textbook for higher education institutions. – 2004. – P. 108–109.
8. Gura D.A., Avetisyan G.G., Zheltko Ch.N. About the studies of the angular errors of the horizontal circle of the electronic tacheometers by the decomposition into the Fourier series // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2011. – № 2. – P. 3–6.
9. URL : <http://fb.ru/article/324806/elektronnyie-teodolity-i-taheometryi> (contact date: 24.06.2019).
10. Petrenkov D.V., Lopatchenko A.N. Electronic total stations: general information, types and principle of operation // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 2. – P. 280–283.
11. Gura T.A., Glazkov. Accuracy and reliability of electronic total stations // Electronic Network Polythematic Journal «Scientific Works of Kuban State Technical University». – 2017. – P. 90–99.
12. Petrenkov D.V. [et al.]. Application of the electronic total stations for the production of the ta-geometric survey // Science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2018. – № 2. – P. 269–272.
13. Kalinin V.A., Gribkova L.A. Study of the total station: from simple to complex // Science. Technique. Technologies (polytechnic limestone). – 2018. – № 2. – P. 231–234.

УДК 656.073

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕРОПРИЯТИЙ
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНСПОРТА
В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОКОМПЛЕКСА**

**AN INTEGRATED APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF MEASURES
TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TRANSPORT
IN THE PRODUCTION ACTIVITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES**

Надирян София Леоновна
Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Коновалова Татьяна Вячеславовна
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы комплексного подхода к разработке мероприятий по повышению эффективности использования транспорта в производственной деятельности предприятий агрокомплекса. Производственно-хозяйственная деятельность предприятий агрокомплекса невозможна без использования автомобильного транспорта. Автотранспортная деятельность таких предприятий не является основной, поэтому оценка эффективности использования транспорта как правило не проводится, а лишь рассчитываются затраты, которые относятся на себестоимость продукции. «Транспортная» составляющая в себестоимости сельскохозяйственной продукции по оценкам специалистов может достигать 18 %, поэтому важно комплексно подходить к разработке мероприятий по повышению эффективности использования транспорта в производственной деятельности предприятий агрокомплекса.

Ключевые слова: производственно-хозяйственная деятельность загрузка, разгрузка, автомобильный транспорт, транспортировка, управление перевозками, автомобильный транспорт.

Nadiryan Sofia Levonovna
Kuban state technological university
sofi008008@yandex.ru

Konovalova Tatiana Vyacheslavovna
Kuban state technological university

Annotation. The article deals with the issues of an integrated approach to the development of measures to improve the efficiency of transport in the production activities of agricultural enterprises. Production and economic activity of Agro-complex enterprises is impossible without the use of road transport. Road transport activities of such enterprises is not the main, so the evaluation of the efficiency of transport is usually not carried out, but only calculated the costs that are attributed to the cost of production. «Transport» component in the cost of agricultural products according to experts can reach 18 %, so it is important to take a comprehensive approach to the development of measures to improve the efficiency of transport in the production activities of agricultural enterprises.

Keywords: production and economic activity loading, unloading, road transport, transportation, transportation management, road transport.

Производственно-хозяйственная деятельность предприятий агрокомплекса невозможна без использования автомобильного транспорта. Автотранспортная деятельность таких предприятий не является основной, поэтому оценка эффективности использования транспорта как правило не проводится, а лишь рассчитываются затраты, которые относятся на себестоимость продукции. «Транспортная» составляющая в себестоимости сельскохозяйственной продукции по оценкам специалистов может достигать 18 %, поэтому важно комплексно подходить к разработке мероприятий по повышению эффективности использования транспорта в производственной деятельности предприятий агрокомплекса [1].

Основными мероприятиями по повышению эффективности использования транспорта на предприятиях агрокомплекса являются:

Первое – повышение производительности подвижного состава за счет улучшения организации перевозок.

Повышение производительности подвижного состава может быть достигнуто за счет увеличения коэффициентов использования грузоподъемности, без увеличения пробега.

При улучшении таких технико-эксплуатационных показателей, как техническая скорость движения, время простоя под погрузкой и разгрузкой, время работы автомо-

бия на линии в сутки, коэффициент выпуска автомобилей на линию, повышается производительность автомобильного парка.

Величина технико-эксплуатационных показателей определяет уровень производительности подвижного состава, себестоимость перевозок.

Второе – строгое соблюдение режима экономии расхода топливно-смазочных материалов, запасных частей, автомобильных шин, а также за счет ликвидации бесхозяйственного расходования и потерь материальных ценностей.

Третье – улучшение организации материально-технического снабжения, нормирования и планирования.

Четвертое – строгий контроль качества поставки агрегатов и запасных частей для ремонта подвижного состава.

Пятое – снижение времени простоя подвижного состава в ТО и текущих ремонтах способствует сокращению незавершенного производства, что в свою очередь также благоприятствует повышению эффективности деятельности предприятия.

И последнее, что необходимо предпринять – это меры по экономии топлива.

Важнейшей задачей работников является соблюдение режима экономии в расходовании материальных и денежных средств. Ниже приведены меры, принимая которые можно добиться экономии топлива:

- уменьшение сопротивления качению;
- обеспечение экономичной работы двигателя.

Для уменьшения расхода топлива необходимо:

- использовать ту его марку, которая соответствует конструкции двигателя и сезону года;
- следить за исправностью системы охлаждения, не допуская перегрева и переохлаждения двигателя;
- утеплять двигатель зимой, применяя хорошо пригнанные чехлы на облицовку радиатора и на капот автомобиля;
- регулярно проверять на диагностических стендах техническое состояние прерывателя-распределителя, свечей и катушки зажигания;
- систематически проверять на диагностических стендах работу карбюраторов и топливной аппаратуры дизелей;
- не допускать работы двигателя с превышением норм на токсичность и дымность отработавших газов, а также на повышенных оборотах холостого хода;
- своевременно заменять или промывать фильтрующие элементы воздушных и топливных фильтров;
- не допускать подтекания топлива из топливопроводов и его испарения через неплотно закрытые горловины топливных баков.

Уменьшения расхода топлива достигают также за счет регулярной проверки технического состояния автомобиля на диагностических стендах, поддержания в технически исправном состоянии всех агрегатов автомобиля, своевременно и в полном объеме выполняя все операции ТО, уменьшения потерь от разливания при заправке автомобиля [2]. Водитель должен знать экономичные приемы вождения и уметь ими пользоваться, всемерно сокращать время работы двигателя на холостом ходу, в том числе и для его прогрева перед началом движения, знать норму расхода топлива закрепленного за ним автомобиля, систематически учитывать расход топлива и при обнаружении его перерасхода, немедленно поставить в известность непосредственного руководителя. Автомобили, расходующие топливо сверх установленных норм, к эксплуатации не допускаются [3].

В результате осуществления перечисленных мероприятий можно улучшить эффективность транспортного обслуживания на предприятиях агрокомплекса.

Рассмотрим мероприятия по повышению эффективности использования транспорта в производственной деятельности одного из предприятий агрокомплекса в Краснодарском крае [4].

Проанализируем данные о количестве перевезенных тонн груза за 2018 год по маркам автомобилей (рис. 1).



Рисунок 1 – Количество перевезенного груза в тоннах

Автомобили «КамАЗ» и «Урал» перевозят практически одинаковое количество тонн в год, не смотря на то, что у «КамАЗа» грузоподъемность в 2 раза больше и составляет в среднем 13 тонн.

Транспортная работа – это количество перевезенного груза на расстояние перевозки за определенное время, определяется в тонно-километрах (рис. 2).

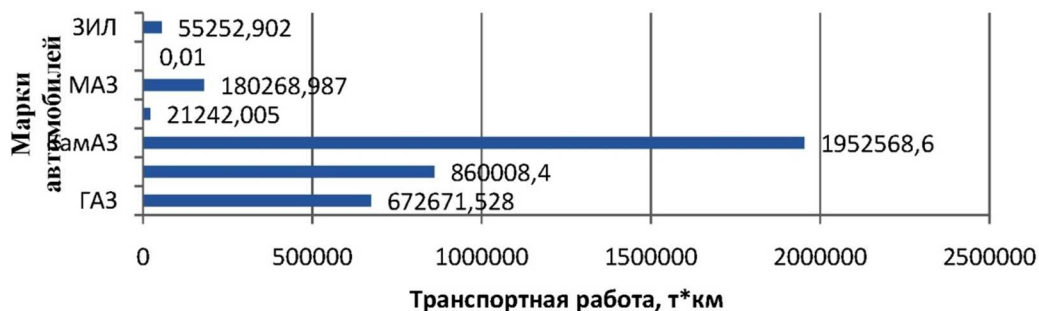


Рисунок 2 – Транспортная работа за 2018 год

Транспортная работа произведенная за год грузовыми автомобилями составила 3742012,422 тонно-километра. Далее необходимо рассмотреть количественный состав автопарка по маркам автомобилей.

На рисунке 3 представлено количественное соотношение единиц подвижного состава по маркам.

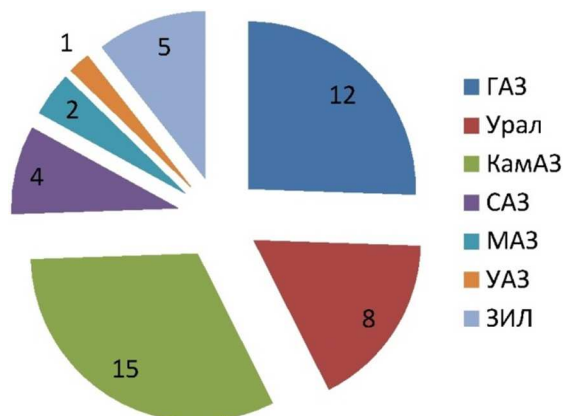


Рисунок 3 – Разделение автопарка по маркам автомобилей

Наглядно видно, что основными марками грузовых автомобилей для обеспечения производственной деятельности являются «КамАЗ», «Газ» и «Урал».

Эта разномарочность автопарка связана с тем, что автомобили приобретались в разные годы по мере необходимости и по мере увеличения потребностей в транс-

порте на предприятии. Лишь 2 грузовых автомобиля имеют срок эксплуатации менее 5 лет, что значительно сказывается на увеличении затрат на запчасти и ремонт остального подвижного состава более 5 лет.

Для эффективной работы транспорта на предприятии и повышения надежности и качества перевозок, а также уменьшения затрат на запчасти и ремонт, необходимо произвести замену старого подвижного состава на новый с аналогичными характеристиками и выполняемыми функциями [6].

Первоначально необходимо составить график замены подвижного состава. На рассматриваемом предприятии полная замена подвижного состава возможна в течение 9 лет. Приоритетом при замене являлись автомобили марок «КамАЗ», «Урал» и «ГАЗ», т.к. выполняют большую часть транспортной работы и затраты на их ремонт и обслуживание тоже являются наибольшими. В связи с возможным принятием законопроекта о запрете эксплуатации при достижении определенного срока эксплуатации транспорта, запрещается эксплуатировать грузовики массой не более 3,5 тонны в возрасте от 18 лет [7].

Исходя из полученных предварительных данных, в первую очередь будут заменены автомобили с наибольшим сроком эксплуатации. В соответствии с графиком замены подвижного состава в 2019 году будут заменены два автомобиля «КамАЗ 5511» и три автомобиля «КамАЗ 5511» на пять автомобилей «КамАЗ 65111». Новый автомобиль «КамАЗ 65111» будет более практичен, т.к. имеет большую грузоподъемность, так же удобством замены на эту модель является то, что в автопарке есть уже автомобили данной модификации, что упрощает организационные моменты ремонта и обслуживания подвижного состава.

Цена на «КамАЗ 65111» с базовой комплектацией составляет 3745000 рублей, т.к. замена подвижного состава несет за собой большие денежные затраты, наиболее выгодно будет воспользоваться программой утилизации с лизингом или автокредитом.

Литература:

1. Домбровский А.Н. [и др.]. Научные проблемы экономики транспорта : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. – 264 с.
2. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 263 с.
3. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Рынок транспортных услуг и качество транспортного обслуживания : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. – 248 с.
4. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – 247 с.
5. Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Оптимизация инвестиций в транспортно-логистическую деятельность предприятия // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2013. – № 3. – С. 208–210.
6. Коновалова Т.В., Макаренко В.П. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры и транспортных средств в России // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 148–150.

References:

1. Dombrovsky A.N. [et al.]. Scientific problems of transport economics : educational background. – Krasnodar : Published by FGBOU VPO «KubGTU», 2017. – 264 p.
2. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport : textbook. – Krasnodar : Ed. FGBOU VPO «KubGTU», 2014. – 263 p.
3. Konovalova T.V., Kotenkova I.N. Transport services market and quality of transport service : a manual. – Krasnodar : Published by FGBOU VPO «KubGTU», 2015. – 248 p.
4. Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryan S.L. Ways to assess the efficiency of road traffic organization : manual. – Krasnodar : Published by FGBOU VPO «KubGTU», 2018. – 247 p.
5. Konovalova T.V., Nadiryan S.L. Optimization of investments into the transport and logistics activity of the enterprise // Humanitarian, socio-economic and social sciences. – 2013. – № 3. – P. 208–210.
6. Konovalova T.V., Makarenko V.P. Problems and prospects of the transport infrastructure and transport means development in Russia // Science. Equipment. Technologies (Polytechnic-Vestnik). – 2016. – № 2. – P. 148–150.

УДК 656.073

УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПЕРЕВОЗКУ ГРУЗОВ ПРИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

CONSIDERATION OF RESTRICTIONS ON THE CARRIAGE OF GOODS WHEN ROUTING VEHICLES

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный
технологический университет

Надирян С.Л.

Кубанский государственный
технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы учета ограничений на перевозку грузов при маршрутизации транспортных средств. Перевозку грузов с учетом всех норм и правил осуществляет самостоятельная отрасль производства – транспорт, которая выполняет перемещение грузов как в самих сегментах материального производства, так и между ними, воздействуя на транспортные и транспортно-производственные процессы с целью повышения их эффективности.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, перевозки, экономика, маршрутизации, груз.

Konovalova T.V.

Kuban state technological University

Nadiryan S.L.

Kuban state technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. The article deals with the issues of accounting for restrictions on the transportation of goods in the routing of vehicles. Transportation of goods, taking into account all the rules and regulations, is carried out by an independent branch of production – transport, which performs the movement of goods both in the segments of material production and between them, affecting transport and transport production processes in order to improve their efficiency.

Keywords: road transport, transportation, economy, routing, cargo.

Перевозку грузов с учетом всех норм и правил осуществляет самостоятельная отрасль производства – транспорт, которая выполняет перемещение грузов как в самих сегментах материального производства, так и между ними, воздействуя на транспортные и транспортно-производственные процессы с целью повышения их эффективности. Эффективное распределение транспортных средств с учетом их грузоподъемности по маршрутам передвижения позволяет добиться максимально [1, 2] полного обеспечения грузопотоков. Кроме того, рациональное использование производительности транспортных средств позволяет предприятиям оптимизировать парк транспортных средств и расходы на его обслуживание.

По разным оценкам от 30% до 50 % всех затрат на логистику связано с транспортными издержками. Определение и эксплуатация рациональных маршрутов при строгом соблюдении сроков поставок помогают добиться не только оптимизации эксплуатационных затрат или пробега ч грузом, но и сократить товарно-производственные запасы на складах в 1,5–2 раза.

Методологию маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку можно выделить в отдельный особенный способ маршрутизации. Он отличается тем, что помимо основных параметров расчета, подбора подвижного состава, определения оптимально коротких сроков доставки на перевозку накладываются ограничивающие условия по прохождению линий электропередач, наличие мостов и туннелей, загруженность трассы, стационарные пункты весового и габаритного контроля (СПВК) и другие. Если например, прокладывать маршрут через какую-либо навигационную систему и в нее не внесена база данных с наложенными ограничениями, то отправляя водителя на маршрут можно понести ущерб и порчу груза, если вдруг на маршруте встретится, например, ограничение по высоте. Либо если не указана координатная точка СПВК, то автомобиль отправится на штраф-стоянку, а владельцу транспортного средства выпишут штраф, и груз не будет доставлен точно в срок.

Для корректной маршрутизации необходимо использовать навигационную систему с прописанным специальным программным обеспечением учитывающим все

ограничения на перевозку, либо перед отправлением транспортного средства на маршрут провести наглядное исследование маршрута с целью выявления ограничений на месте, и внесением этих ограничений на карту с последующей выдачей этой карты вместе с путевой документацией при отправке водителя на маршрут [3, 4].

В правилах перевозок грузов автомобильным транспортом дается определение тяжеловесного груза. Это груз, масса которого с учетом массы транспортного средства превышает предельно допустимые массы транспортных средств или предельно допустимые осевые нагрузки.

Таким образом, тяжеловесность грузов (транспортных средств с грузом) определяется двумя критериями, общей массой транспортного средства с грузом и нагрузками на оси. Превышение допустимых нормативов по одному из этих параметров означает, что груз является тяжеловесным и влечет необходимость получения специального разрешения на перевозку такого груза и возмещение ущерба причиняемого тяжеловесным транспортным средством дорожному полотну и сооружениям (мостам и развязкам), а также обеспечение дополнительных мер безопасности движения тяжеловесного транспорта.

По общей массе установлены следующие предельные нормативные значения:

- для двухосных одиночных грузовиков максимальная масса с грузом не должна превышать 18 т, для трехосных 25 т, а четырехосных до 32 т;
- весовые параметры автопоездов, в составе тягача с прицепом или полуприцепом, для трехосных 28 т, четырехосных 36 т, а с пятью и более осями до 40 т.

Существенные новшества коснулись с 1 июля 2015 года всех российских и иностранных транспортных компаний, что обусловлено изменениями оплаты за перевозку крупногабаритных грузов по федеральным дорогам автотранспортом. Теперь транспортировка тяжеловесных грузов по автотрассам общего пользования осуществляется только при соблюдении ряда условий, которые строго оговорены существующим законодательством [5, 6].

Размер такой оплаты за провоз тяжеловесных и крупногабаритных грузов по федеральным автомобильным дорогам рассчитывается с учетом:

- абсолютной массы большегрузного автомобиля;
- расстояния между осями транспортного средства;
- протяженности всего маршрута, по которому следует груз.

Необходимо отметить, что размер платы за провоз крупногабаритных грузов в обязательном порядке должен быть сообщен грузоперевозчику не позднее, чем за 3 дня до момента конечного согласования маршрута проведения перевозки [7].

Порядок передвижения таких грузов по дорогам федерального подчинения Российской Федерации определен специальной Инструкцией. При этом плательщиками этого дорожного сбора выступают отечественные и иностранные пользователи или владельцы транспортных средств, которые непосредственно и осуществляют транспортировку тяжеловесных грузов. Проезд автотранспортных средства вышеуказанной категории по автомобильным дорогам федерального подчинения должен производиться только при наличии специальных разрешений, которые выдаются уполномоченными ведомствами Минтранспорта РФ.

Распределение груза на автомобиле производится таким образом, чтобы общая масса транспортного средства с таким грузом не превышала нормы, установленной существующими инструкциями и приложениями.

Контроль над весом большегрузных автомобилей и нагрузкой на ось существенно возрос. На сегодняшний день половина пунктов весового контроля на федеральных трассах автоматизированы, что позволяет просто и быстро пройти процедуру контроля. Тем не менее, использование такой методики в несколько раз увеличивает сборы за дорожный «ущерб», а при определенных видах автомобильных перевозок – в десятки раз [7].

Следует отметить, что за перегруз автомобиля вводится солидарная ответственность как грузоперевозчика, так и заказчика. Поэтому обе заинтересованные стороны должны перед тем, как заключить договор на транспортировку груза, решить все вопросы, сопряженные с возможными проблемами в пути.

По оценке Росавтодора размер ежегодного ущерба, наносимого дорогам России автотранспортом со сверхнормативным весом, достигает 2,6 трлн руб. Иными словами, ежедневно порядка 200–500 грузовых автомобилей со средним удельным превышением весовых норм в 45%, а это порядка 30% от всего грузового потока, проходя через определенный участок дороги, попросту приводят его в негодность. И так повсеместно. Если учесть, что на развитие и ремонт трасс в год тратится примерно 1 трлн рублей, то становятся понятны причины насущной для всех автомобилистов проблемы: покрытие автомагистралей разрушается гораздо быстрее, чем строится и ремонтируется [8].

СПВК является местом выполнения работниками дорожных организаций задач по осуществлению контроля за соблюдением грузоперевозчиками требований нормативных правовых актов и международных договоров Российской Федерации в области перевозок тяжеловесных грузов транспортными средствами по федеральным автомобильным дорогам, оборудованным специальными служебными помещениями, оснащенным необходимыми техническими средствами и сооружениями, а также закрепленными за ними зонами ответственности.

Система весового контроля обеспечивает:

- динамическое взвешивание транспортных средств, движущихся по проезжей части;
- выявление из общего потока транспортные средства с весовыми параметрами, превышающими допустимые;
- определение общей массы транспортного средства, осевых нагрузок, межосевых расстояний и скорости движения;
- автоматическое распознавание государственного регистрационного номера транспортного средства, с помощью системы видеонаблюдения.

Взвешивание транспорта «на ходу» стало возможным благодаря применению сверхчувствительных датчиков, на основе пьезополимерного кабеля, которые монтируют прямо в дорожное полотно [9].

Груз считается негабаритным, если его вес или/и размер превышает значение, установленные ПДД конкретной страны в качестве допустимых при транспортировке. Согласно ПДД Российской Федерации, негабаритным считается груз, которые:

- выступает сзади либо спереди более чем на 1000 см;
- выступает с боку более чем на 400 см от краев габаритных огней автомобиля.

Перевозка негабарита допускается только в тех случаях, если выполняется ряд условий:

- груз не ухудшает обзор водителю;
- не оказывает негативного влияния на устойчивость транспортного средства;
- не закрывает светоотражатели, осветительные устройства, опознавательные знаки, не препятствует восприятию сигналов, подаваемых водителю рукой;
- не создает шумов, не поднимает пыль при транспортировке, не вредит дороге и окружающей среде.

Если же одно из этих условий нарушается во время следования, в задачу водителя входит устранить нарушение. Если по какой-либо причине это невозможно, необходимо прекратить движение, в противном случае будет выписан штраф за перевозку крупногабаритного груза [10].

Литература:

1. Богоявленская О.И., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Исследование маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку грузов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 202–205.
2. Богоявленская О.И., Богоявленский И.А., Коновалова Т.В., Надирян С.Л. Методические подходы к маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку грузов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 3. – С. 289–293.
3. Гончаренко К.В., Булатова А.П., Коновалова Т.В. Анализ систем маршрутного ориентирования транспортных потоков в городах. В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах / Ответственный редактор А.В. Медведев. – 2019. – С. 82–86.

4. Домбровский А.Н., Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Научные проблемы экономики транспорта : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. – 264 с.
5. Коновалова Т.В. Экономика дорожного движения : учебное пособие (Издание второе, переработанное и дополненное). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013. – 156 с.
6. Коновалова Т.В., Макаренко В.П. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры и транспортных средств в России // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 148–150.
7. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Рынок транспортных услуг и качество транспортного обслуживания : учебное пособие. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. – 248 с.
8. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н. Организационно-производственные структуры транспорта : учебное пособие. Краснодар, Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 248 с.
9. Коновалова Т.В., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. Способы оценки эффективности организации дорожного движения. Учебное пособие. Краснодар, Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – 247 с.
10. Коновалова Т.В., Супрун О.С. К вопросу выбора критерия оптимизации маршрута при доставке грузов автомобильным транспортом. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2017. – № 11. – С. 143–150.

References:

1. Bogoyavlenskaya O.I., Konovalova T.V., Nadiryayn S.L. Research of routing of vehicles with restrictions on transportation of goods // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2018. – № 2. – P. 202–205.
2. Bogoyavlenskaya O.I., Bogoyavlensky I.A., Konovalova T.V., Nadiryayn S.L. Methodological approaches to the routing of vehicles with restrictions on the transportation of goods // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2018. – № 3. – P. 289–293.
3. Goncharenko K.V., Bulatova A.P., Konovalova T.V. Analysis of systems of route orientation of traffic flows in cities. In the collection: Problems of functioning of transport systems Materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. In 2 volumes / Responsible editor A. V. Medvedev. – 2019. – P. 82–86.
4. Dombrovsky A.N., Konovalova T.V., Kotenkova I.N., Nadiryayn S.L. Scientific problems of transport Economics study guide. – Krasnodar : Publishing House. IN FGBOU «Kuban state University», 2017. – 264 p.
5. Konovalova T.V. Economy of the road : Textbook (second Edition, revised and supplemented). – Krasnodar : Publishing House – South, 2013. – 156 p.
6. Konovalova T.V., Makarenko V.P. Problems and prospects of development of transport infrastructure and vehicles in Russia // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 148–150.
7. Konovalova T.V., kotenkova I.N. Market of transport services and quality of transport service : Textbook. – Krasnodar : Ed. FGBOU VPO «Kuban state University», 2015. – 248 p.
8. Konovalova T.V., kotenkova I.N. Organizational and production structures of transport : Textbook. – Krasnodar : Ed. FGBOU VPO «Kuban state University», 2014. – 248 p.
9. Konovalova T.V., kotenkova I.N., Nadiryayn S.L. Ways to assess the effectiveness of traffic management : Textbook. – Krasnodar : Ed. IN FGBOU «Kuban state University», 2018. – 247 p.
10. Konovalova T.V., Suprun O.S. On the choice of the route optimization criterion for the delivery of goods by road. Polythematic network electronic magazine «Scientific works of the Kuban state University». – 2017. – № 11. – P. 143–150.

УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ПЯТЬ И С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER SYSTEM WITH FIVE-TIME SOLUTION AND ONE-TIME SOLUTION OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью шесть характеристического уравнения. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения.

Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The article [1] analyzes the transient characteristics of a sixth order system with six-time solution of the characteristic equation. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with five-time solution and one-time solution of the characteristic equation.

Transitional characteristics of sixth order systems with five-time solution and one-time solution of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial in numerator of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^5 \cdot (T_2 p + 1)},$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения:

$$p_{1 \div 5} = -\frac{1}{T_1},$$
$$p_6 = -\frac{1}{T_2}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_5 \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(-\frac{K_3}{T_1} + 3K_4\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1} + 4K_5\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(\frac{K_3}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 12K_5\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_1^2} - 8 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_1^2} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_6}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 18 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(-\frac{K_3}{T_1^3} + 9 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 36 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1^3} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 36 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 96 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(\frac{K_3}{T_1^4} - 12 \cdot \frac{K_4}{T_1^3} + 72 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_4}{T_1^4} - 16 \cdot \frac{K_5}{T_1^3}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_1^4} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_6}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(5)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(-\frac{K_2}{T_1^5} + 10 \cdot \frac{K_3}{T_1^4} - 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^3} + 240 \cdot \frac{K_5}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ + \left(-\frac{K_3}{T_1^5} + 15 \cdot \frac{K_4}{T_1^4} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1^3}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_4}{T_1^5} + 20 \cdot \frac{K_5}{T_1^4}\right) \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_1^5} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_6}{T_2^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = 0;$$

$$h_{60}(\infty) = 1,$$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = K_1 + K_6 + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_6}{T_2};$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_6}{T_2^2};$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_6}{T_2^3};$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5 + \frac{K_6}{T_2^4};$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1} - \frac{K_6}{T_2^5};$$

$$h_{60}(\infty) = K_7,$$

то справедлива зависимость:

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_6 + 1 = 0; \tag{1}$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_6}{T_2} = 0; \tag{2}$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_6}{T_2^2} = 0; \tag{3}$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_6}{T_2^3} = 0; \tag{4}$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + 24K_5 + \frac{K_6}{T_2^4} = 0; \tag{5}$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - 120 \cdot \frac{K_5}{T_1} - \frac{K_6}{T_2^5} = 0. \tag{6}$$

Из уравнения (2) следует, что

$$K_2 = \frac{K_1}{T_1} + \frac{K_6}{T_1}. \tag{7}$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что

$$2K_3 = \frac{K_1}{T_1^2} - \frac{T_1 - 2T_2}{T_1} \cdot \frac{K_6}{T_2^2}. \tag{8}$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$6K_4 = \frac{K_1}{T_1^3} + \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_6}{T_2^3}. \tag{9}$$

Из уравнений (5), (7), (8), и (9) следует, что

$$24K_5 = \frac{K_1}{T_1^4} - \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{T_1^3} \cdot \frac{K_6}{T_2^4}. \tag{10}$$

Из уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$K_1 = -\frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{T_2^4} \cdot K_6. \tag{11}$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$K_6 = \frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5};$$

$$K_1 = -\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1;$$

$$K_2 = -\frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4};$$

$$K_3 = -\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3};$$

$$K_4 = -\frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2};$$

$$K_5 = -\frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$\begin{aligned} h_{60}(t) &= -\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1; \\ h_{60}^{(1)}(t) &= \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot \frac{t}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2}{2 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot \frac{t^2}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \frac{T_2}{6 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot \frac{t^3}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{24 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot \frac{t^4}{T_1^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^5 \cdot (T_2 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$\begin{aligned} h_{61}(t) &= \left[-\frac{T_1^4 - 5T_1^3T_2 + 10T_1^2T_2^2 - 10T_1T_2^3 + 5T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1 + \frac{T_2^4 \tau}{(T_1 - T_2)^5} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \left[\frac{(T_1 - 2T_2) \cdot (T_1^2 - 2T_1T_2 + 2T_2^2)}{(T_1 - T_2)^4} + \frac{T_2^3 \tau}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^4} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[-\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} + \frac{T_2^2 \tau}{2T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \left[\frac{T_1 - 2T_2}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{T_2 \tau}{6T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)^2} \right] \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[-\frac{1}{24T_1^3 \cdot (T_1 - T_2)} + \frac{\tau}{24T_1^4 \cdot (T_1 - T_2)} \right] \cdot t^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[\frac{T_2^5}{(T_1 - T_2)^5} - \frac{T_2^4 \tau}{(T_1 - T_2)^5} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1. \end{aligned}$$

Для системы возможно два варианта.

Вариант первый справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 > T_2$.

При этом, если $\tau = T_1$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 2T_2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{1}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0,18T$, а $T_2 = 0,1T$,
при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = -\frac{4149}{1024} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} + \frac{1025}{128} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{4375}{96} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} +$$

$$+\frac{15625}{972} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{390625}{4374} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} + \frac{3125}{1024} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_1$:

$$h_{61}(t) = \frac{369}{256} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{525}{32} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} + \frac{625}{72} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} -$$

$$-\frac{15625}{243} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{625}{256} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_1$:

$$h_{61}(t) = \frac{7101}{1024} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{5225}{128} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} + \frac{18125}{288} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} -$$

$$-\frac{15625}{108} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} + \frac{390625}{4374} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{50}{9}t} - \frac{8125}{1024} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

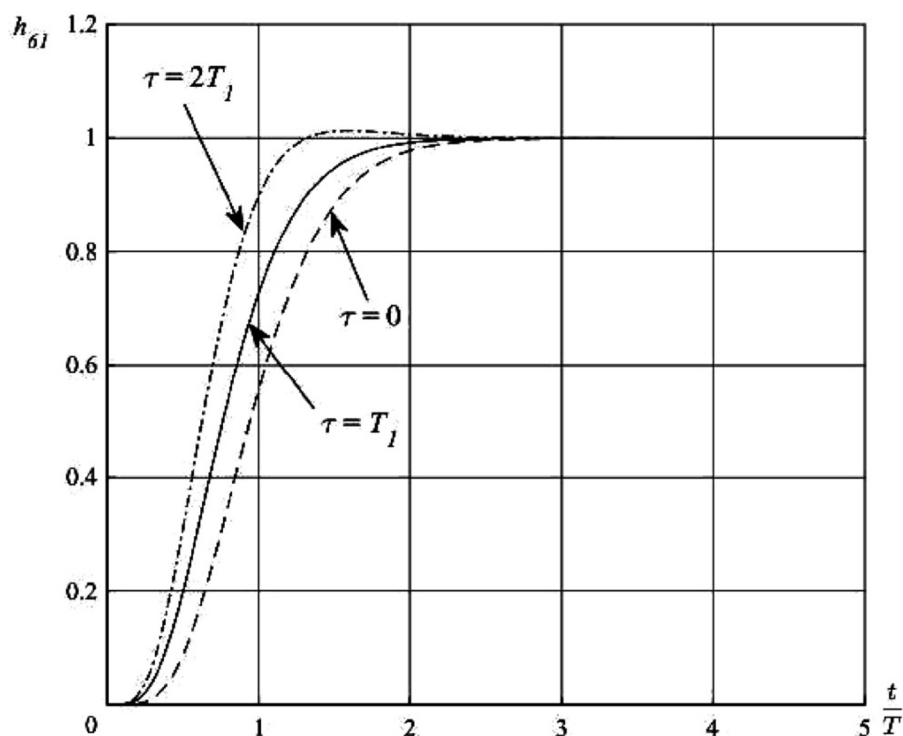


Рисунок 1 – Зависимости h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ .

Вариант второй справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 < T_2$.
При этом, если $\tau = T_2$, то:

$$h_{61}(t) = -e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{t}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{t^2}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{6} \cdot \frac{t^3}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{24} \cdot \frac{t^4}{T_1^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0,16T$, а $T_2 = 0,2T$,
при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = 3124 \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} + 3900 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} + \frac{19375}{8} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} +$$

$$+ \frac{15625}{16} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} + \frac{390625}{1536} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - 3125 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_2$:

$$h_{61}(t) = -e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{25}{4} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{625}{32} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{15625}{384} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{390625}{6144} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}}$$

$$+ 1,$$

при $\tau = 2T_2$:

$$h_{61}(t) = -3126 \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{7825}{2} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{39375}{16} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} -$$

$$- \frac{203125}{192} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} - \frac{390625}{1024} \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-\frac{25t}{4T}} + 3125 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

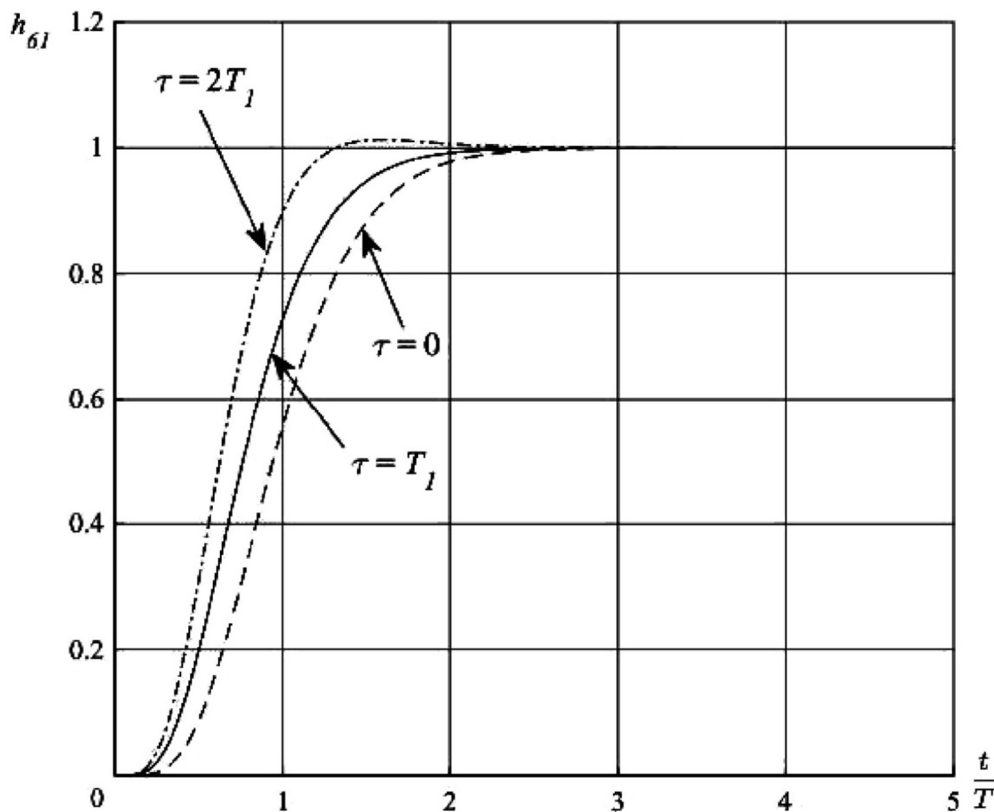


Рисунок 2 – Зависимости h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы

Получены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения как

с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью пять и с одним корнем кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. The analysis of transitional features of the system of the sixth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ЧЕТЫРЕ И С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ДВА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER SYSTEM WITH FOUR-TIME SOLUTION AND DOUBLE SOLUTION OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратностью шесть характеристического уравнения. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения. Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The article [1] analyzes the transient characteristics of a sixth order system with six-time solution of the characteristic equation. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with four-time and double solution of the characteristic equation. Transitional characteristics of sixth order systems with four-time and double solution of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^4 \cdot (T_2 p + 1)^2},$$

где T_1 и T_2 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения:

$$p_{1÷4} = -\frac{1}{T_1},$$
$$p_{5,6} = -\frac{1}{T_2}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_6 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1} + 3K_4\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_5}{T_2} + K_6\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_1^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_5}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_6}{T_2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_6}{T_2^2} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 18 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1^3} + 9 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1^3} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_5}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_6}{T_2^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_2^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 36 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_1^4} - 12 \cdot \frac{K_4}{T_1^3}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_1^4} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_5}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_6}{T_2^3}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_6}{T_2^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}};$$

$$h_{60}^{(5)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^5} + 10 \cdot \frac{K_3}{T_1^4} - 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^3}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1^5} + 15 \cdot \frac{K_4}{T_1^4}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1^5} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_5}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_6}{T_2^4}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_2^5} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = 0;$$

$$h_{60}(\infty) = 1,$$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = K_1 + K_5 + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_5}{T_2} + K_6;$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_5}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_6}{T_2};$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_5}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_6}{T_2^2};$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + \frac{K_5}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_6}{T_2^3};$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - \frac{K_5}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_6}{T_2^4};$$

$$h_{60}(\infty) = K_7,$$

то справедлива зависимость

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_5 + 1 = 0; \tag{1}$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_5}{T_2} + K_6 = 0; \tag{2}$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_5}{T_2^2} - 2 \cdot \frac{K_6}{T_2} = 0; \tag{3}$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_5}{T_2^3} + 3 \cdot \frac{K_6}{T_2^2} = 0; \tag{4}$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + \frac{K_5}{T_2^4} - 4 \cdot \frac{K_6}{T_2^3} = 0; \tag{5}$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - \frac{K_5}{T_2^5} + 5 \cdot \frac{K_6}{T_2^4} = 0. \tag{6}$$

Из уравнения (2) следует, что

$$K_2 = \frac{K_1}{T_1} + \frac{K_5}{T_2} - K_6. \tag{7}$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что

$$2K_3 = \frac{K_1}{T_1^2} - \frac{T_1 - 2T_2}{T_1} \cdot \frac{K_5}{T_2^2} + 2 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot \frac{K_6}{T_2}. \tag{8}$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$6K_4 = \frac{K_1}{T_1^3} + \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_5}{T_2^3} - 3 \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_6}{T_2^2}. \tag{9}$$

Из уравнений (5), (7), (8), и (9) следует, что

$$K_6 = -\frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot \frac{K_1}{4T_1} + \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot \frac{K_5}{4T_2}. \tag{10}$$

Из уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$K_1 = \frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{T_1^3 - 5T_1^2T_2 + 10T_1T_2^2 - 10T_2^3}{T_2^2 \cdot (5T_1 - T_2)} \cdot K_5. \tag{11}$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$K_5 = -\frac{5T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_2^4;$$

$$K_1 = -\frac{T_1^3 - 5T_1^2T_2 + 10T_1T_2^2 - 10T_2^3}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1^2;$$

$$K_2 = -\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1;$$

$$K_3 = -\frac{T_1 - 3T_2}{2 \cdot (T_1 - T_2)^3};$$

$$K_4 = -\frac{1}{6T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2};$$

$$K_6 = -\frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$\begin{aligned} h_{60}(t) = & -\frac{T_1^3 - 5T_1^2T_2 + 10T_1T_2^2 - 10T_2^3}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & -\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 3T_2}{2 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & -\frac{1}{6T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{5T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_2^4 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1; \\ h_{60}^{(1)}(t) = & -\frac{4T_1T_2^3}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{3T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \frac{1}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{4T_1T_2^3}{(T_1 - T_2)^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^4 \cdot (T_2 p + 1)^2},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

После преобразования переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$\begin{aligned} h_{61}(t) = & -\left[\frac{T_1^3 - 5T_1^2T_2 + 10T_1T_2^2 - 10T_2^3}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_1^2 + \frac{4T_1T_2^3\tau}{(T_1 - T_2)^5} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[-\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1 + \frac{3T_2^2\tau}{(T_1 - T_2)^4} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \\ & - \left[\frac{T_1 - 3T_2}{2 \cdot (T_1 - T_2)^3} + \frac{T_2\tau}{T_1 \cdot (T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[-\frac{1}{6T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{\tau}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)^2} \right] \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\ & + \left[-\frac{5T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^5} \cdot T_2^4 + \frac{4T_1T_2^3\tau}{(T_1 - T_2)^5} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \left[-\frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} + \frac{T_2^2\tau}{(T_1 - T_2)^4} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1. \end{aligned}$$

Для системы возможно два варианта.

Вариант первый справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 > T_2$.

При этом, если $\tau = T_1$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^2 - 4T_1T_2 + 6T_2^2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 3T_2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot T_1 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(T_1 - T_2)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{4T_1 - T_2}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_2^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0,2T$, а $T_2 = 0,1T$,

при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = 8 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 40 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 50 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{250}{3} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 9 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} - 10 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_1$:

$$h_{61}(t) = -8 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 20 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 50 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 7 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 10 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_1$:

$$h_{61}(t) = -24 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 80 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 150 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{250}{3} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 23 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 30 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.

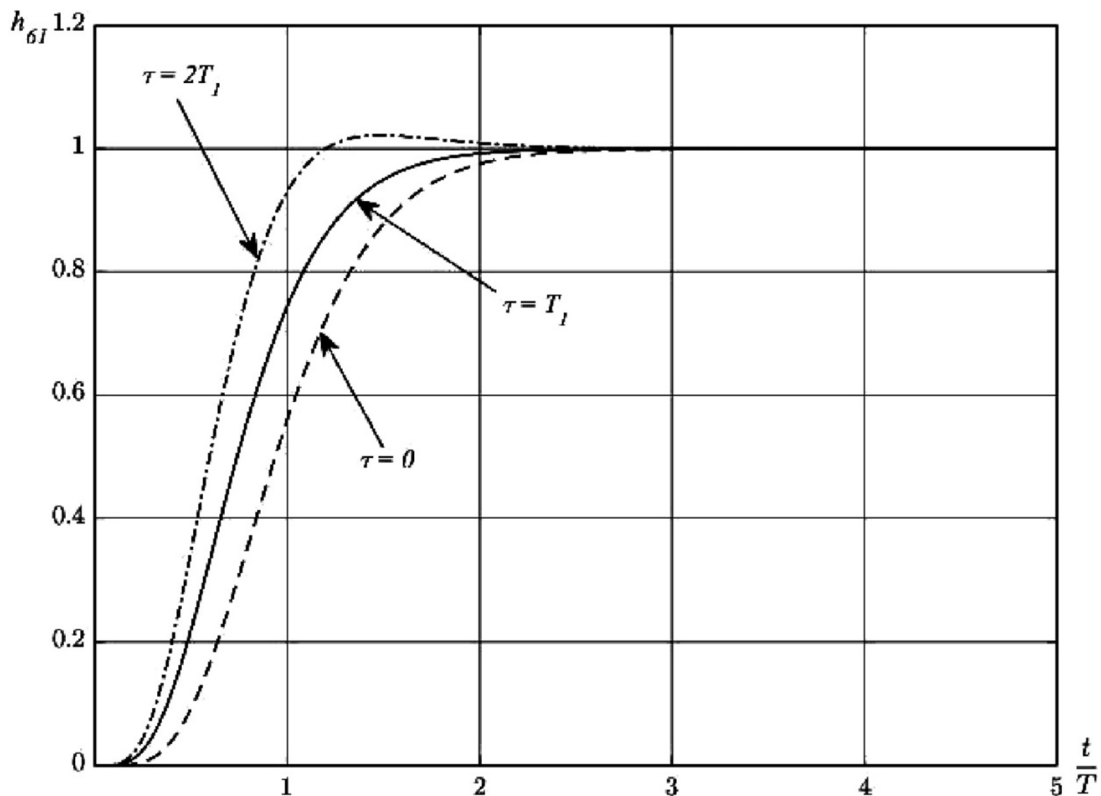


Рисунок 1 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй справедлив для системы, если выполняется условие $T_1 < T_2$.

При этом, если $\tau = T_2$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_1 - 2T_2}{2T_1 \cdot (T_1 - T_2)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{1}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0,15T$, а $T_2 = 0,2T$,
при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = -2817 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 3420 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 1800 \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} -$$

$$-\frac{4000}{9} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + 2816 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - 1280 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_2$:

$$h_{61}(t) = 255 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + 420 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + \frac{1000}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} +$$

$$+\frac{4000}{27} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 256 \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_2$:

$$h_{61}(t) = 3327 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + 4260 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + \frac{7400}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} +$$

$$+\frac{20000}{27} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 3328 \cdot \frac{t^4}{T^4} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1280 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

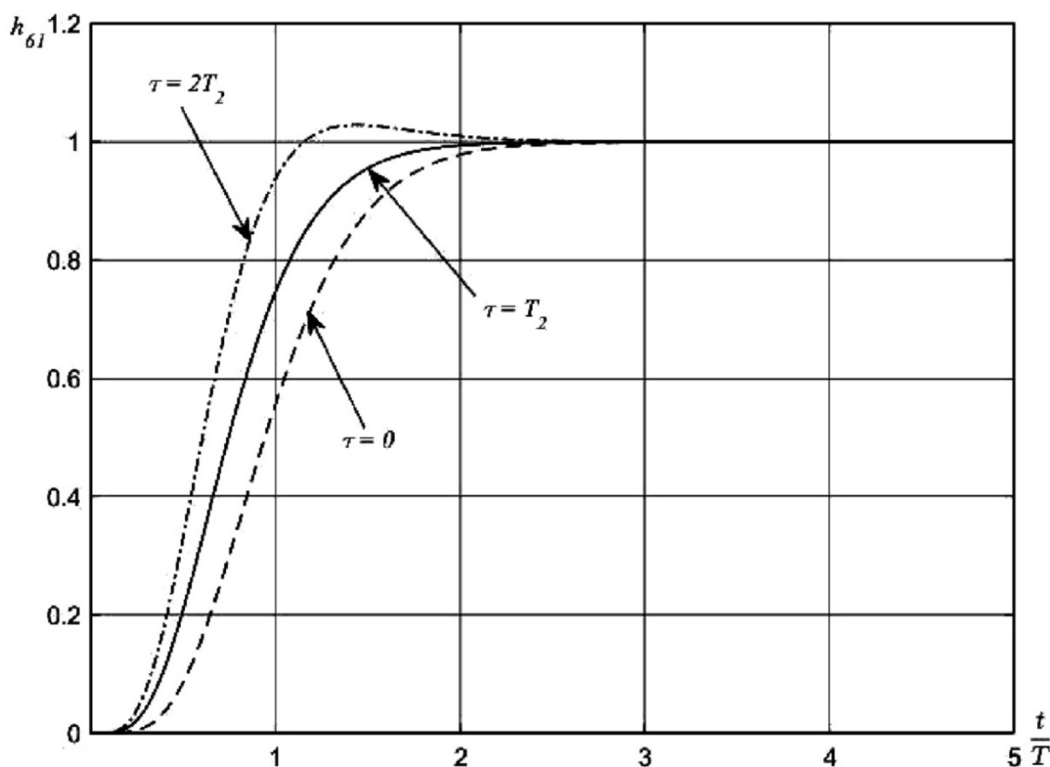


Рисунок 2 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Выводы

Получены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения

как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с одним корнем кратностью два характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. The analysis of transitional features of the system of the sixth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ШЕСТОГО ПОРЯДКА С ОДНИМ КОРНЕМ КРАТНОСТЬЮ ЧЕТЫРЕ И С ДВУМЯ КОРНЯМИ КРАТНОСТЬЮ ОДИН ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

THE ANALYSIS OF TRANSIENT CHARACTERISTICS OF A SIXTH ORDER SYSTEM WITH FOUR-TIME SOLUTION AND TWO ONE-TIME SOLUTIONS OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Печёнкин Олег Андреевич

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик системы шестого порядка с одним корнем кратности шесть характеристического уравнения. В данной статье анализируются переходные характеристики системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения. Найдены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы шестого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Pechonkin Oleg Andreevich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The article [1] analyzes the transient characteristics of a sixth order system with six-time solution of the characteristic equation. This article analyzes the transient characteristics of a sixth order system with four-time solution and two one-time solutions of the characteristic equation. Transitional characteristics of sixth order systems with four-time solution and two one-time solutions of the characteristic equation with a zero degree polynomial and a first degree polynomial in numerator of transfer function are found.

Keywords: transition characteristic, sixth order characteristic equation system, the solution of the characteristic equation.

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{60}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)^4 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где T_1 , T_2 и T_3 – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции шестого порядка.

Корни характеристического уравнения системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения:

$$p_{1+4} = -\frac{1}{T_1},$$
$$p_5 = -\frac{1}{T_2},$$

$$p_6 = -\frac{1}{T_3}.$$

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первых пяти производных соответственно равны:

$$h_{60}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_3 \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_4 \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_5 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_6 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_7;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1} + K_2\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1} + 3K_4\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{60}^{(2)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^2} - 4 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_1^2} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_6}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{60}^{(3)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^3} + 6 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 18 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1^3} + 9 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1^3} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{60}^{(4)}(t) = \left(\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_2}{T_1^4} - 8 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 36 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(\frac{K_3}{T_1^4} - 12 \cdot \frac{K_4}{T_1^3}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_4}{T_1^4} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_5}{T_2^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_6}{T_3^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{60}^{(5)}(t) = \left(-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_2}{T_1^5} + 10 \cdot \frac{K_3}{T_1^4} - 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^3}\right) \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left(-\frac{K_3}{T_1^5} + 15 \cdot \frac{K_4}{T_1^4}\right) \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_4}{T_1^5} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_5}{T_2^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_6}{T_3^5} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$h_{60}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(1)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(2)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(3)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(4)}(0) = 0;$$

$$h_{60}^{(5)}(0) = 0;$$

$$h_{60}(\infty) = 1,$$

а начальные и конечные значения системы шестого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{aligned}
 h_{60}(0) &= K_1 + K_5 + K_6 + K_7; \\
 h_{60}^{(1)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_5}{T_2} - \frac{K_6}{T_3}; \\
 h_{60}^{(2)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_5}{T_2^2} + \frac{K_6}{T_3^2}; \\
 h_{60}^{(3)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_5}{T_2^3} - \frac{K_6}{T_3^3}; \\
 h_{60}^{(4)}(0) &= \frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + \frac{K_5}{T_2^4} + \frac{K_6}{T_3^4}; \\
 h_{60}^{(5)}(0) &= -\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - \frac{K_5}{T_2^5} - \frac{K_6}{T_3^5}; \\
 h_{60}(\infty) &= K_7,
 \end{aligned}$$

то справедлива зависимость:

$$K_7 = 1.$$

При этом справедлива система уравнений:

$$K_1 + K_5 + K_6 + 1 = 0; \quad (1)$$

$$-\frac{K_1}{T_1} + K_2 - \frac{K_5}{T_2} - \frac{K_6}{T_3} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{K_1}{T_1^2} - 2 \cdot \frac{K_2}{T_1} + 2K_3 + \frac{K_5}{T_2^2} + \frac{K_6}{T_3^2} = 0; \quad (3)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^3} + 3 \cdot \frac{K_2}{T_1^2} - 6 \cdot \frac{K_3}{T_1} + 6K_4 - \frac{K_5}{T_2^3} - \frac{K_6}{T_3^3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{K_1}{T_1^4} - 4 \cdot \frac{K_2}{T_1^3} + 12 \cdot \frac{K_3}{T_1^2} - 24 \cdot \frac{K_4}{T_1} + \frac{K_5}{T_2^4} + \frac{K_6}{T_3^4} = 0; \quad (5)$$

$$-\frac{K_1}{T_1^5} + 5 \cdot \frac{K_2}{T_1^4} - 20 \cdot \frac{K_3}{T_1^3} + 60 \cdot \frac{K_4}{T_1^2} - \frac{K_5}{T_2^5} - \frac{K_6}{T_3^5} = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (2) следует, что

$$K_2 = \frac{K_1}{T_1} + \frac{K_5}{T_2} + \frac{K_6}{T_3}. \quad (7)$$

Из уравнений (3) и (7) следует, что

$$2K_3 = \frac{K_1}{T_1^2} - \frac{T_1 - 2T_2}{T_1} \cdot \frac{K_5}{T_2^2} - \frac{T_1 - 2T_3}{T_1} \cdot \frac{K_6}{T_3^2}. \quad (8)$$

Из уравнений (4), (7) и (8) следует, что

$$6K_4 = \frac{K_1}{T_1^3} + \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_5}{T_2^3} + \frac{T_1^2 - 3T_1T_3 + 3T_3^2}{T_1^2} \cdot \frac{K_6}{T_3^3}. \quad (9)$$

Из уравнений (5), (7), (8), и (9) следует, что

$$K_1 = \frac{T_1 \cdot (T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3)}{T_2^4} \cdot K_5 + \frac{T_1 \cdot (T_1^3 - 4T_1^2T_3 + 6T_1T_3^2 - 4T_3^3)}{T_3^4} \cdot K_6. \quad (10)$$

Из уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) следует, что

$$K_6 = -\frac{T_3^5}{T_2^5} \cdot \frac{(T_1 - T_2)^4}{(T_1 - T_3)^4} \cdot K_5. \quad (11)$$

Из уравнений (1), (7), (8), (9), (10) и (11) следует, что

$$\begin{aligned}
 K_5 &= -\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^4}; \\
 K_1 &= -\frac{T_1T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} + \frac{T_1T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_3 + 6T_1T_3^2 - 4T_3^3}{(T_1 - T_3)^4};
 \end{aligned}$$

$$K_2 = -\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} + \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1T_3 + 3T_3^2}{(T_1 - T_3)^3};$$

$$K_3 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_2}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^2};$$

$$K_4 = -\frac{1}{6T_1 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)};$$

$$K_6 = \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^4}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{60}(t) = \left[-\frac{T_1T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} + \frac{T_1T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_3 + 6T_1T_3^2 - 4T_3^3}{(T_1 - T_3)^4} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \left[-\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} + \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1T_3 + 3T_3^2}{(T_1 - T_3)^3} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_2}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^2} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$- \frac{1}{6T_1 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1;$$

$$h_{60}^{(1)}(t) = \left[-\frac{T_2^4}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^4} + \frac{T_3^4}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^4} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \left[\frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_2^2}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^3} - \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3^2}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{T_2^2}{T_1^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3^2}{T_1^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^2} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} +$$

$$+ \frac{1}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^3}{(T_1 - T_3)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Передаточная функция системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции имеет вид:

$$W_{61}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)^4 \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции шестого порядка.

Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции принимает вид:

$$h_{61}(t) = \left[-\frac{T_1T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2T_2 + 6T_1T_2^2 - 4T_2^3}{(T_1 - T_2)^4} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{T_1 T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^3 - 4T_1^2 T_3 + 6T_1 T_3^2 - 4T_3^3}{(T_1 - T_3)^4} - \frac{T_2^4 \tau}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^4} + \\
 & + \frac{T_3^4 \tau}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[-\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1 T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} + \right. \\
 & + \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1 T_3 + 3T_3^2}{(T_1 - T_3)^3} + \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_2^2 \tau}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^3} - \\
 & \left. - \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3^2 \tau}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^3} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_2}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^2} + \right. \\
 & + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{(T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_2^2 \tau}{T_1^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)^2} + \\
 & + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3^2 \tau}{T_1^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)^2} \left. \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[-\frac{1}{6T_1} \cdot \frac{1}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} + \right. \\
 & + \frac{\tau}{6T_1^2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \left. \right] \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \left[-\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^4}{(T_1 - T_2)^4} + \right. \\
 & + \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^3 \tau}{(T_1 - T_2)^4} \left. \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \left[\frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^4} - \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^3 \tau}{(T_1 - T_3)^4} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.
 \end{aligned}$$

Для системы возможны два варианта.

Вариант первый справедлив для системы, если выполняются условия $T_1 > T_2, T_1 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_1$, то:

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) & = \left[-\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1 T_2 + 3T_2^2}{(T_1 - T_2)^3} + \frac{T_1 T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1^2 - 3T_1 T_3 + 3T_3^2}{(T_1 - T_3)^3} \right] \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \left[-\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1 - 2T_2}{(T_1 - T_2)^2} + \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{(T_1 - T_3)^2} \right] \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{T_2}{T_1 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_2)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_3}{T_1 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_1 - T_3)} \right] \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \\
 & + \frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot \frac{T_3^3}{(T_1 - T_3)^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.
 \end{aligned}$$

Предположим $T_1 = 0,2T, T_2 = 0,12T, T_3 = 0,08T$, при $\tau = 0$:

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) & = \frac{17875}{1296} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{11375}{216} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{4375}{72} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \\
 & - \frac{3125}{36} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{243}{16} \cdot e^{-\frac{25}{3}\frac{t}{T}} + \frac{32}{81} \cdot e^{-\frac{25}{2}\frac{t}{T}} + 1,
 \end{aligned}$$

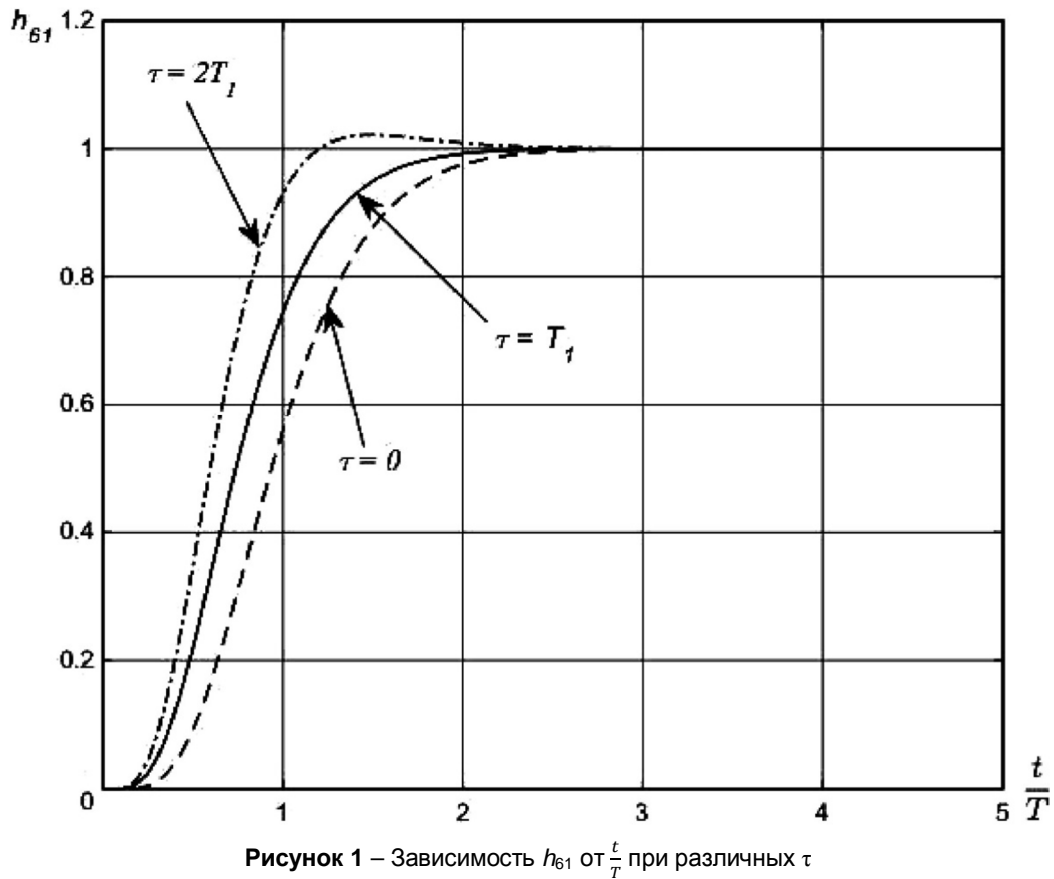
при $\tau = T_1$:

$$h_{61}(t) = -\frac{2275}{216} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{875}{36} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{625}{12} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{81}{8} \cdot e^{-\frac{25}{3}\frac{t}{T}} - \frac{16}{27} \cdot e^{-\frac{25}{2}\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_1$:

$$\begin{aligned}
 h_{61}(t) & = -\frac{45175}{1296} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{21875}{216} \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} - \frac{11875}{72} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \\
 & + \frac{3125}{36} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-5\frac{t}{T}} + \frac{567}{16} \cdot e^{-\frac{25}{3}\frac{t}{T}} - \frac{128}{81} \cdot e^{-\frac{25}{2}\frac{t}{T}} + 1.
 \end{aligned}$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 1 в относительных единицах.


 Рисунок 1 – Зависимость h_{61} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вариант второй справедлив для системы, если выполняются условия $T_2 > T_1$, $T_2 > T_3$.

При этом, если $\tau = T_2$, то:

$$h_{61}(t) = -\frac{T_1^3 - 4T_1^2T_3 + 6T_1T_3^2 - 4T_3^3}{(T_1 - T_3)^4} \cdot T_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{T_1^2 - 3T_1T_3 + 3T_3^2}{(T_1 - T_3)^3} \cdot t \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_1 - 2T_3}{T_1 \cdot (T_1 - T_3)^2} \cdot t^2 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} -$$

$$-\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{T_1^2 \cdot (T_1 - T_3)} \cdot t^3 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_3^4}{(T_1 - T_3)^4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Предположим $T_1 = 0,15T$, $T_2 = 0,3T$, а $T_3 = 0,1T$, при $\tau = 0$:

$$h_{61}(t) = 15 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + 100 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + \frac{200}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} +$$

$$+ \frac{4000}{27} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 24 \cdot e^{-\frac{10t}{3T}} + 8 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = T_2$:

$$h_{61}(t) = 15 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 60 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + \frac{200}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - \frac{4000}{27} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 16 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1,$$

при $\tau = 2T_2$:

$$h_{61}(t) = 15 \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} - 220 \cdot \frac{t}{T} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + \frac{200}{3} \cdot \frac{t^2}{T^2} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} -$$

$$-\frac{4000}{9} \cdot \frac{t^3}{T^3} \cdot e^{-\frac{20t}{3T}} + 24 \cdot e^{-\frac{10t}{3T}} - 40 \cdot e^{-10\frac{t}{T}} + 1.$$

Полученные зависимости изображены на рисунке 2 в относительных единицах.

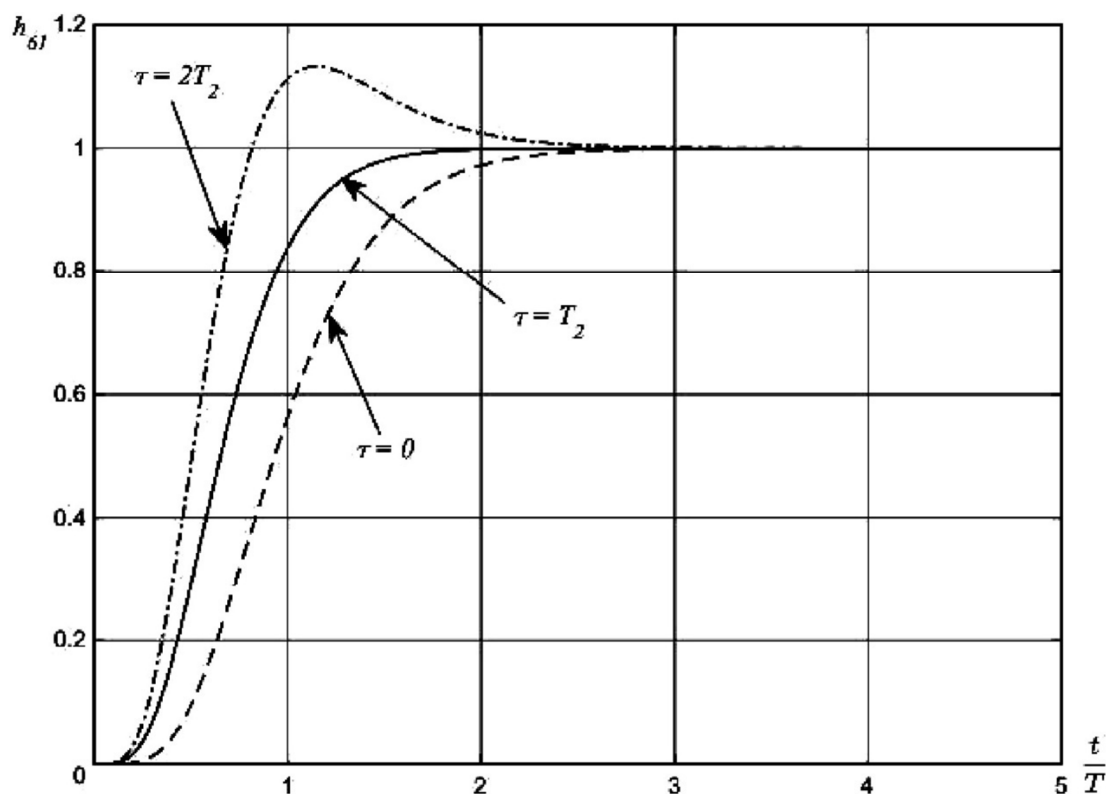


Рисунок 2 – Зависимость $h_{\delta 1}$ от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Вывод

Получены переходные характеристики систем шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени в числителе передаточной функции. Переходная характеристика системы шестого порядка с одним корнем кратностью четыре и с двумя корнями кратностью один характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции не имеет перерегулирования, если постоянная времени числителя меньше или равна большей по величине постоянной времени знаменателя.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик системы шестого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Murlin A.G., Serkin A.D. The analysis of transitional features of the system of the sixth order with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 62.83.52:62.503.56

ДИАГРАММА ДЛЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ДВУХМАССОВОЙ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

DIAGRAM FOR LARGE MOVEMENTS OF EXECUTIVE BODY OF THE TWO-MASS ELASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEM

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Ульрих Ренат Викторович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Мильдзихов Георгий Павлович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. В данной работе предлагается оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы с ограничениями по току якорной цепи электродвигателя и скорости. При ее разработке не учитывалось влияние индуктивности якорной цепи электродвигателя постоянного тока.

Ключевые слова: двухмассовая упругая электромеханическая система, большие перемещения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Ulrikh Renat Viktorovich

Student,
Kuban state technological university

Mildzikhov Georgy Pavlovich

Student,
Kuban state technological university

Annotation. In this paper, we propose an optimal speed diagram for small displacements of the executive body of a two-mass elastic electromechanical system with restrictions on the current of the electric motor anchor chain and speed. During its development, the influence of the inductance of the anchor circuit of a DC motor was not taken into account.

Keywords: two-mass elastic electromechanical system, large displacements.

На рисунках 1–3 приведена диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы. Для данной диаграммы перемещения исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы справедливы следующие десять уравнений:

$$C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)}; \quad (1)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1; \quad (2)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(2)} \cdot t_1 = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (3)$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_2); \quad (4)$$

$$-C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{min}}^{(1)}; \quad (5)$$

$$\omega_{\text{max}^*}^{(2)} = \omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\omega_{\text{max}^*}^{(2)} \cdot t_1 = -\omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (7)$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_3); \quad (8)$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot (4t_1 + \frac{1}{2}t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_4); \quad (9)$$

$$T_{\text{ц}} = 8t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (10)$$

где C_M – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

- $I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;
 $M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м;
 J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;
 J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м²;
 $\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;
 $\omega_{\text{max}}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;
 $\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;
 $\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;
 $\omega_{\text{min}}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;
 $\omega_{\text{max}^*}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;
 $\omega_{\text{max}^*}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;
 $\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;
 $\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;
 t_1 – длительность первого, второго, четвёртого, пятого, седьмого, восьмого, десятого и одиннадцатого этапов, с;
 t_2 – длительность третьего этапа, с;
 t_3 – длительность девятого этапа, с;
 t_4 – длительность шестого этапа, с;
 $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Из уравнения (1):

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (11)$$

Из уравнения (3) и зависимости (11):

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (12)$$

Из уравнения (4) и зависимости (11):

$$t_2 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - 2t_1. \quad (13)$$

Из уравнения (5):

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (14)$$

Из уравнения (7) и зависимости (14):

$$\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (15)$$

Из уравнения (8) и зависимости (14):

$$t_3 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 2t_1. \quad (16)$$

Из уравнений (9), (13) и зависимости (16):

$$t_4 = \frac{(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{\omega_{\text{доп}}} - 2t_1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}. \quad (17)$$

Если $t_4 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$.

При этом:

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}} \cdot \left[4t_1 + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \right]. \quad (18)$$

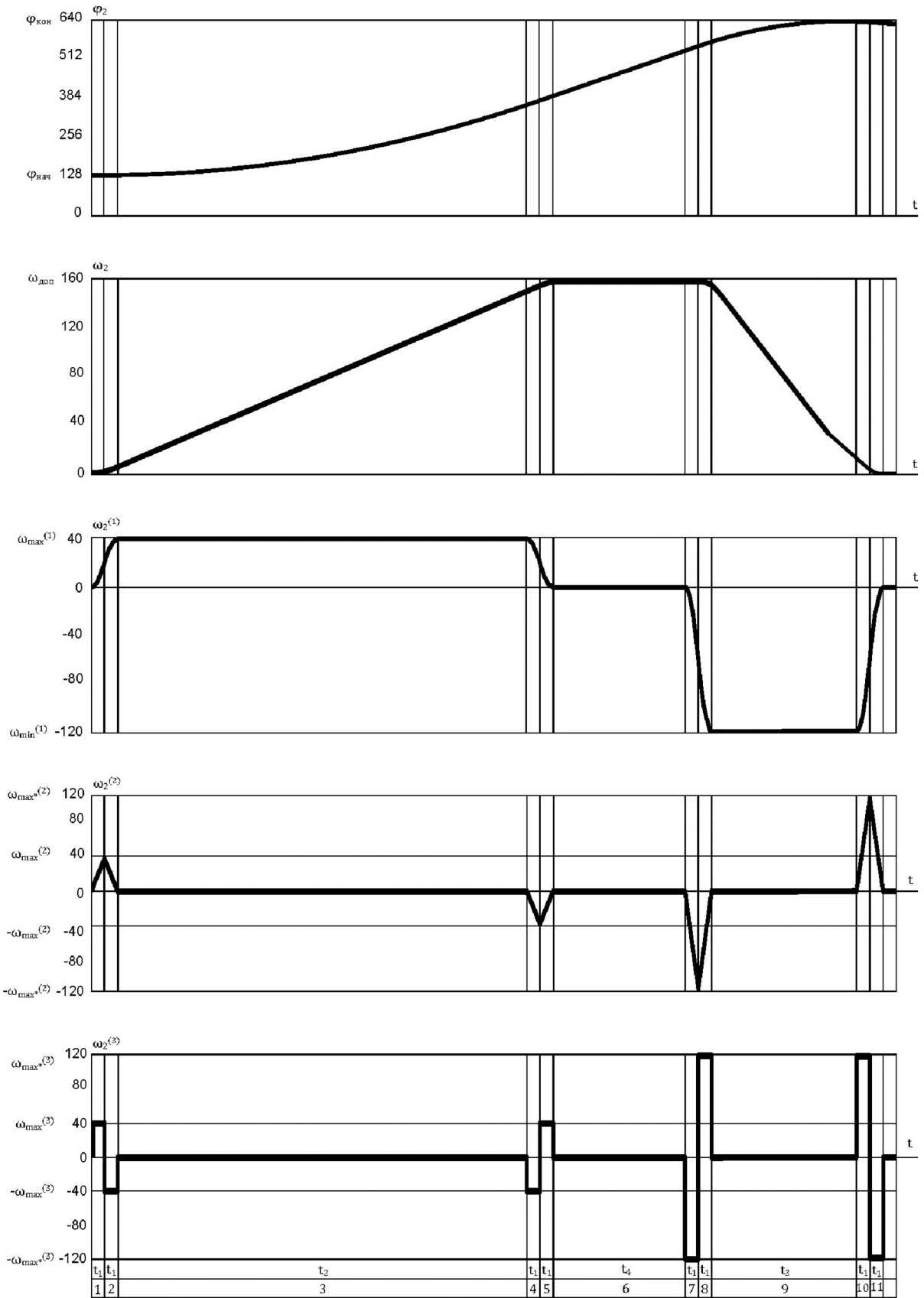


Рисунок 1

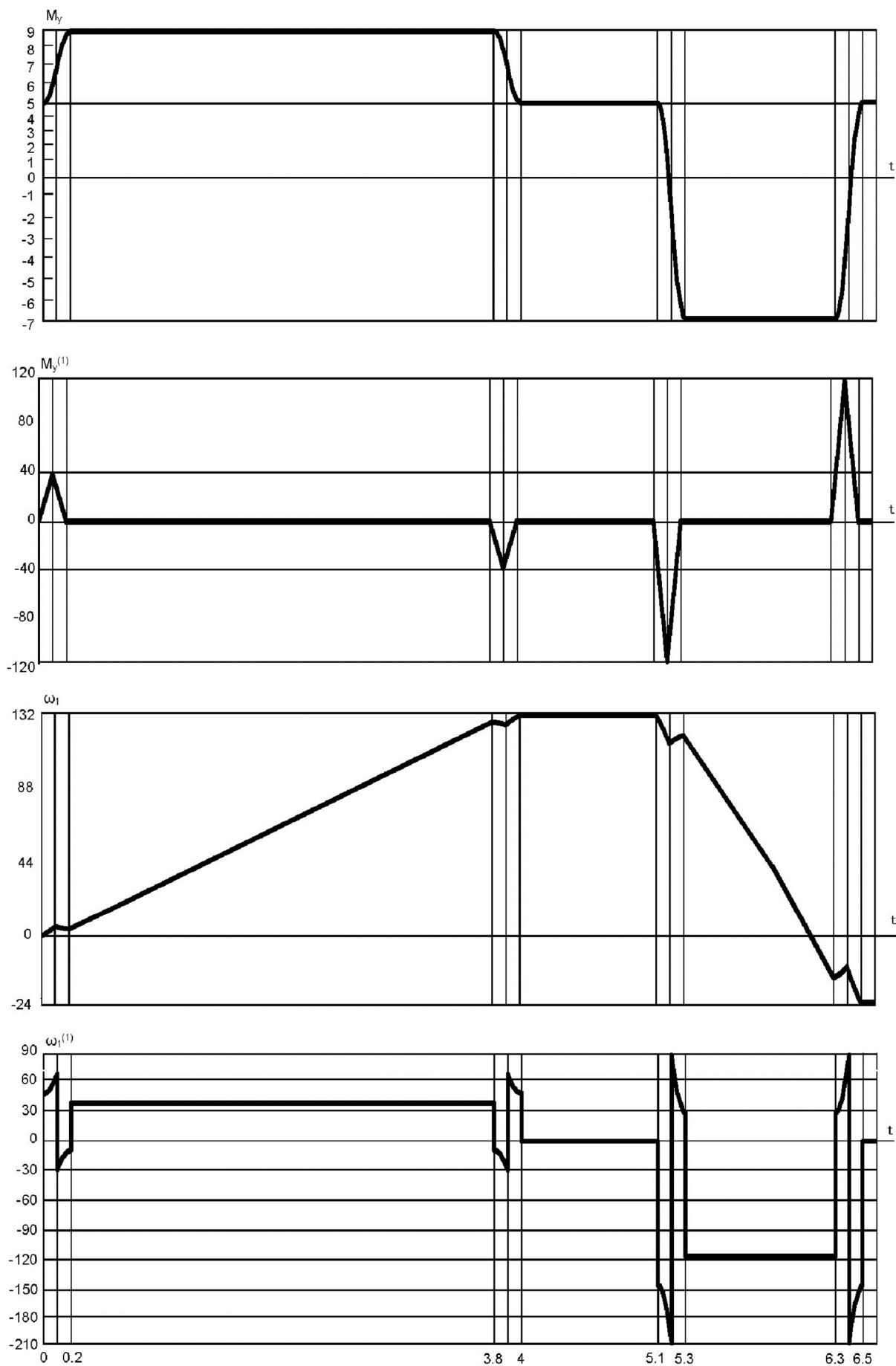


Рисунок 2

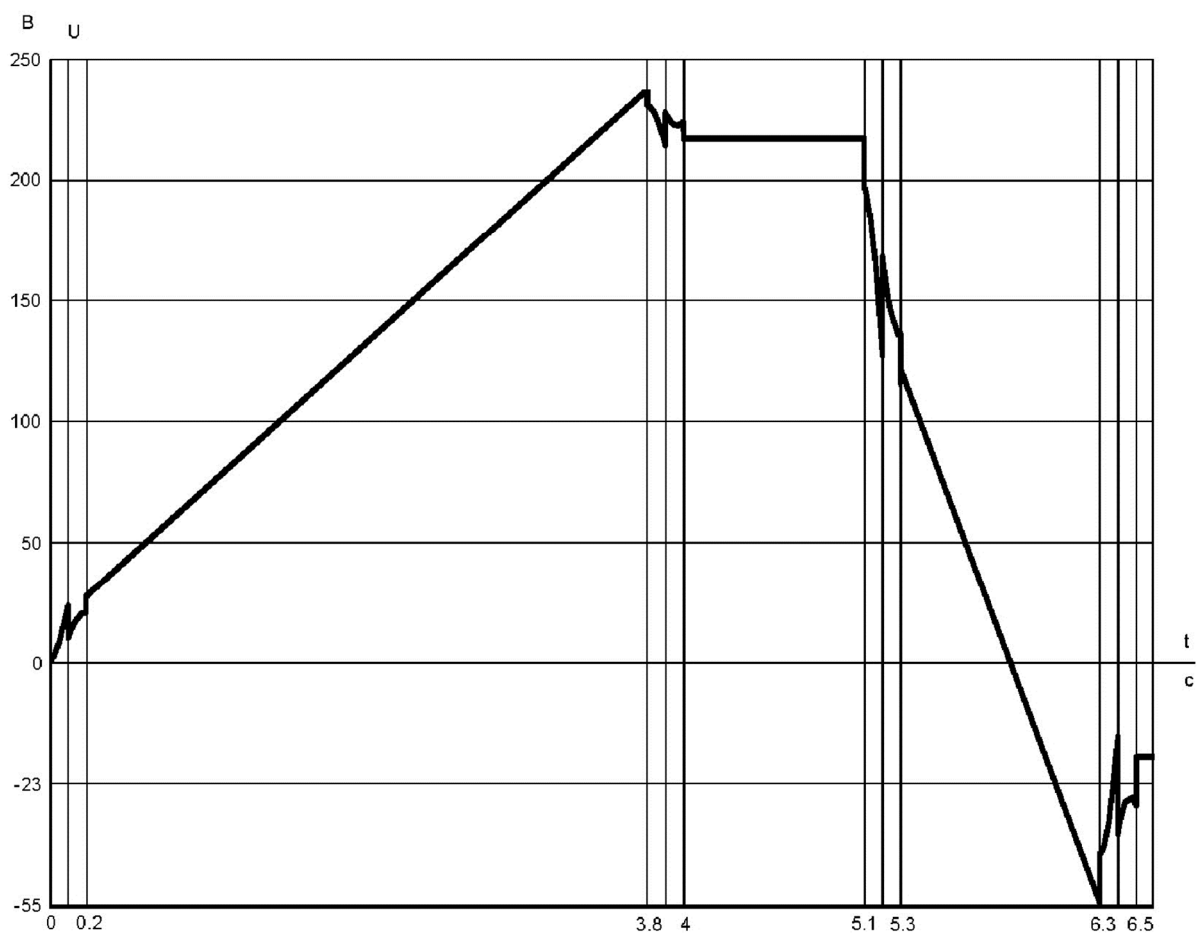
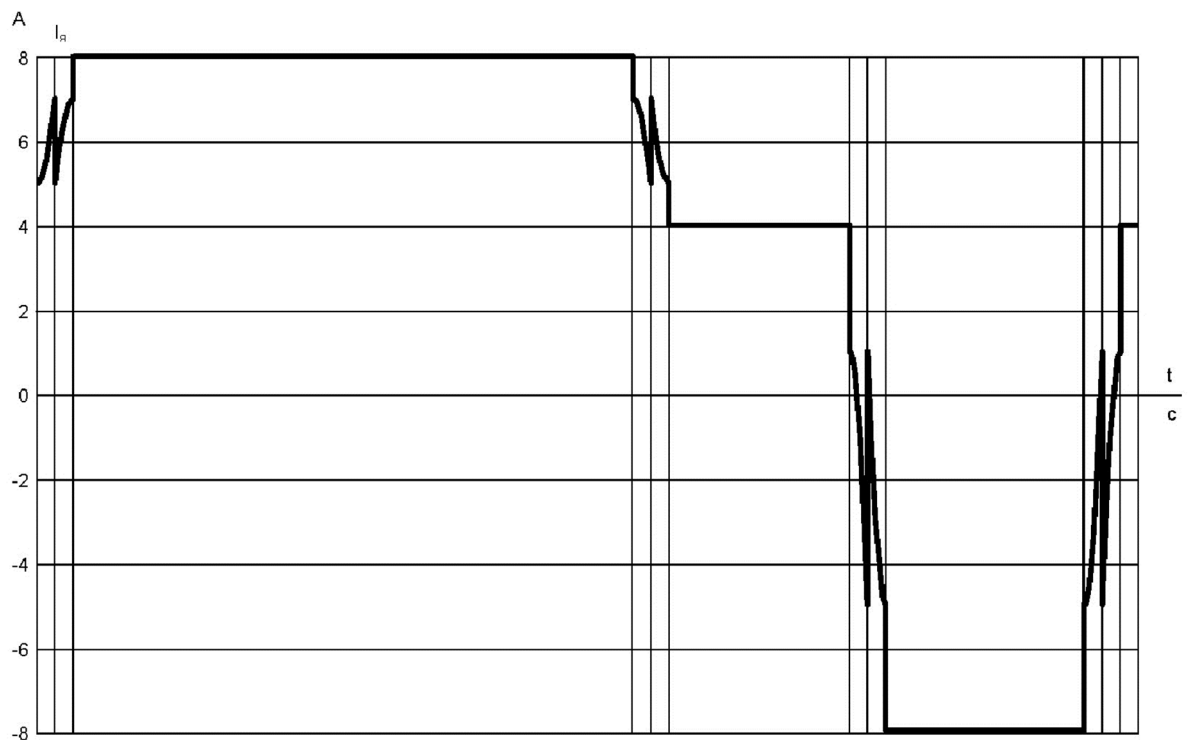


Рисунок 3

В данной работе рассмотрена двухмассовая упругая электромеханическая система имеющая следующие параметры:

$C_e = 1,25 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$ – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и его ЭДС, $\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$;

$C_M = 1,25 \text{ В}\cdot\text{с}$;

$R_{\text{Я}} = 5 \text{ Ом}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$J_1 = 0,0025 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;

$J_2 = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;

$C_y = 8 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$ – жесткость валопровода, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$.

На контролируемые координаты двухмассовой упругой электромеханической системы накладывались следующие ограничения:

$U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}$ – допустимое напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}$;

$\omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Момент сопротивления имел следующее значение:

$M_{\text{со}} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Граничное значение угла поворота исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы равно:

$\varphi_{\text{гр.1}} = 458 \frac{2}{3} \text{ рад}$,

при этом:

$t_1 = 0,1 \text{ с}$; $t_2 = 3,8 \text{ с}$; $t_3 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$; $t_4 = 0 \text{ с}$; $T_{\text{ц}} = 5 \frac{11}{15} \text{ с}$;

$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\text{max}}^{(3)} = 4000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; $\omega_{\text{min}}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = 12000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$.

Приведенная на рисунках 1–3 диаграммы для больших перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы имеет следующие параметры:

$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 640 \text{ рад}$;

$t_1 = 0,1 \text{ с}$; $t_2 = 3,8 \text{ с}$; $t_3 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$; $t_4 = 1 \frac{2}{15} \text{ с}$; $T_{\text{ц}} = 3 \frac{1}{15} \text{ с}$;

$\omega_{\text{max}}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\text{max}}^{(3)} = 4000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$; $\omega_{\text{min}}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; $\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = 12000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$.

Выводы

Принятое в работе допущение о не учете влияния индуктивности якорной цепи электродвигателя, позволило получить аналитические зависимости для определения параметров оптимальной по быстродействию диаграммы для больших перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы и.

Следует иметь в виду, что при реализации данной диаграммы из-за не учета влияния индуктивности якорной цепи появится несанкционированное движение исполнительного органа.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод : монография / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Litash B.S. Quasi-optimal software-controlled positional electric drive : monograph / Kuban. state technol. un-t. – Krasnodar : Publ. GUO VPO «KubGTU», 2009. – 178 p.

УДК 62.83.52:62.503.56

ДИАГРАММА ДЛЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ДВУХМАССОВОЙ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

DIAGRAM FOR SMALL MOVEMENTS OF EXECUTIVE BODY OF TWO-MASS ELASTIC ELECTROMECHANICAL SYSTEM

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Ульрих Ренат Викторович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Агаев Сергей Олегович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. В данной работе без учета влияния индуктивности якорной цепи электродвигателя постоянного тока разработана оптимальная по быстродействию диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы с ограничением по току якорной цепи электродвигателя.

Ключевые слова: двухмассовая упругая электромеханическая система, малые перемещения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Ulrikh Renat Viktorovich

Student,
Kuban state technological university

Agayev Sergey Olegovich

Student,
Kuban state technological university

Annotation. In this work, without taking into account the influence of the inductance of the anchor circuit of a DC motor, a speed-optimal diagram for small displacements of the actuator of a two-mass elastic electromechanical system with a current limit of the armature circuit of the electric motor is developed.

Keywords: two-mass elastic electromechanical system, small displacements.

На рисунках 1–3 приведена диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы. Для данной диаграммы перемещения исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы справедливы следующие десять уравнений:

$$C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{max}}^{(1)}; \quad (1)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(2)} = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1; \quad (2)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \omega_{\text{max}}^{(2)} \cdot t_1 = \omega_{\text{max}}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (3)$$

$$\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_2); \quad (4)$$

$$-C_M I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{min}}^{(1)}; \quad (5)$$

$$\omega_{\text{max}^*}^{(2)} = \omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\omega_{\text{max}^*}^{(2)} \cdot t_1 = -\omega_{\text{max}^*}^{(3)} \cdot t_1^2; \quad (7)$$

$$\omega_{\text{max}} = -\omega_{\text{min}}^{(1)} \cdot (2t_1 + t_3); \quad (8)$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \frac{1}{2} \omega_{\text{max}} \cdot (8t_1 + t_2 + t_3); \quad (9)$$

$$T_{\text{ц}} = 8t_1 + t_2 + t_3, \quad (10)$$

где C_M – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

- $I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;
 $M_{\text{со}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м;
 J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;
 J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м²;
 $\omega_{\text{max}}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;
 $\omega_{\text{max}}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;
 $\omega_{\text{max}}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;
 ω_{max} – максимальное значение скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;
 $\omega_{\text{min}}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;
 $\omega_{\text{max}^*}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;
 $\omega_{\text{max}^*}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;
 $\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;
 $\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа двигателя, рад;
 t_1 – длительность первого, второго, четвертого, пятого, шестого, седьмого, девятого и десятого этапов, с;
 t_2 – длительность третьего этапа, с;
 t_3 – длительность восьмого этапа, с;
 $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Из уравнения (1):

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (11)$$

Из уравнения (3) и зависимости (11):

$$\omega_{\text{max}}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (12)$$

Из уравнения (5):

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}. \quad (13)$$

Из уравнения (7) и зависимости (13):

$$\omega_{\text{max}^*}^{(3)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{(J_1 + J_2) \cdot t_1^2}. \quad (14)$$

Из уравнений (4), (8), (9) и зависимостей (11), (13):

$$t_2 = -\frac{3C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}}} \pm \sqrt{\frac{(C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}})^2}{C_m^2 I_{\text{доп}}^2} \cdot t_1^2 + \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} \cdot \frac{J_1 + J_2}{C_m I_{\text{доп}}} \cdot (\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}. \quad (15)$$

$$t_3 = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \cdot (2t_1 + t_2) - 2t_1; \quad (16)$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2} \cdot (2t_1 + t_2). \quad (17)$$

Если $t_3 = 0$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.1}}$.

При этом:

$$\varphi_{\text{гр.1}} = 4 \cdot \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} \cdot \frac{2C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2} \cdot t_1^2. \quad (18)$$

Если $\omega_{\text{max}} = \omega_{\text{доп}}$, то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$,

где $\omega_{\text{доп}}$ – допустимое значение скорости исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

При этом:

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \frac{1}{2} \omega_{\text{доп}} \cdot \left[4t_1 + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} \right]. \quad (19)$$

В данной работе рассмотрена двухмассовая упругая электромеханическая система имеющая следующие параметры:

$C_e = 1,29 \frac{В \cdot с}{рад}$ – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью исполнительного органа электродвигателя и его ЭДС, $\frac{В \cdot с}{рад}$;

$C_M = 1,25 В \cdot с$;

$R_{Я} = 5 \text{ Ом}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$J_1 = 0,0025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_2 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$C_y = 8 \frac{Н \cdot м}{рад}$ – жесткость валопровода, $\frac{Н \cdot м}{рад}$.

На контролируемые координаты двухмассовой упругой электромеханической системы накладывались следующие ограничения:

$U_{доп} = 250 \text{ В}$ – допустимое напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$I_{доп} = 8 \text{ А}$;

$\omega_{доп} = 160 \frac{рад}{с}$ – допустимое значение скорости, $\frac{рад}{с}$.

Момент сопротивления имел следующее значение:

$M_{со} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Граничные значения угла поворота исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы равны:

$\varphi_{гр.1} = 1,44 \text{ рад}$;

$\varphi_{гр.2} = 458 \frac{2}{3} \text{ рад}$.

В работе выполнен численный эксперимент с целью определения зависимости длительности цикла перемещения исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}), \text{ рад}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$T_{ц}, \text{ с}$	$\frac{\omega_{max}, \text{ рад}}{\text{с}}$
14,4	0,4	0	1,2	24
28,8	0,7	0,1	1,6	36
48	1	0,2	2	48
72	1,3	0,3	2,4	60
100,8	1,6	0,4	2,8	72
134,4	1,9	0,5	3,2	84
172,8	2,2	0,6	3,6	96
216	2,5	0,7	4	108
264	2,8	0,8	4,4	120
316,8	3,1	0,9	4,8	132
374,4	3,4	1	5,2	144
436,8	3,7	1,1	5,6	156
$458 \frac{2}{3}$	3,8	$1 \frac{2}{15}$	$5 \frac{11}{15}$	160

Приведенная на рисунках 1–4 диаграмма для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы имеет следующие параметры:

$(\varphi_{кон} - \varphi_{нач}) = 48$;

$t_1 = 0,1 \text{ с}; t_2 = 1 \text{ с}; t_3 = 0,2 \text{ с}; T_{ц} = 2 \text{ с}; \omega_{max} = 48 \frac{рад}{с}$;

$\omega_{max}^{(1)} = 40 \frac{рад}{с^2}; \omega_{max}^{(3)} = 4000 \frac{рад}{с^4}; \omega_{min}^{(1)} = -120 \frac{рад}{с^2}; \omega_{max*}^{(3)} = 12000 \frac{рад}{с^4}$.

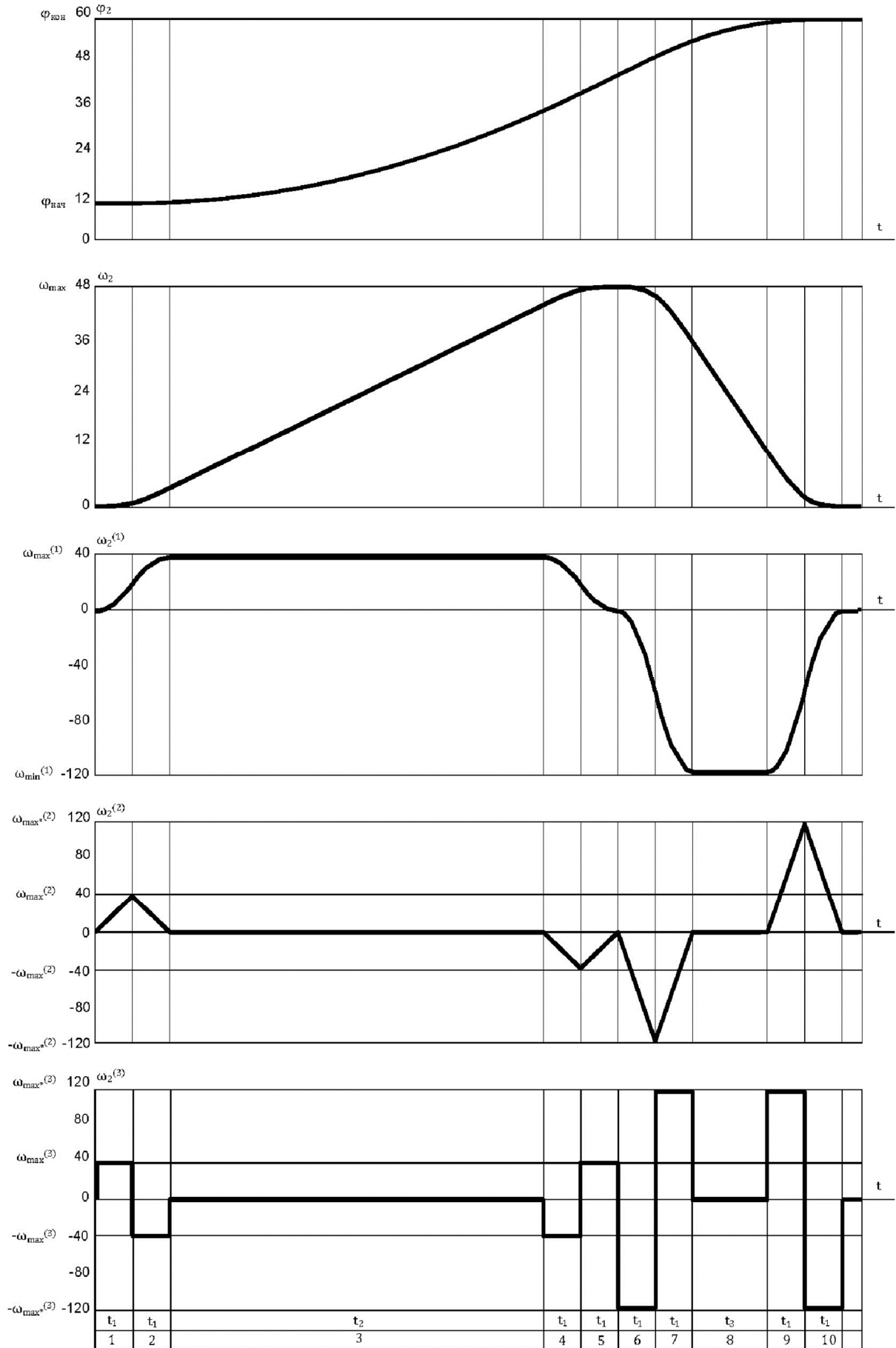


Рисунок 1

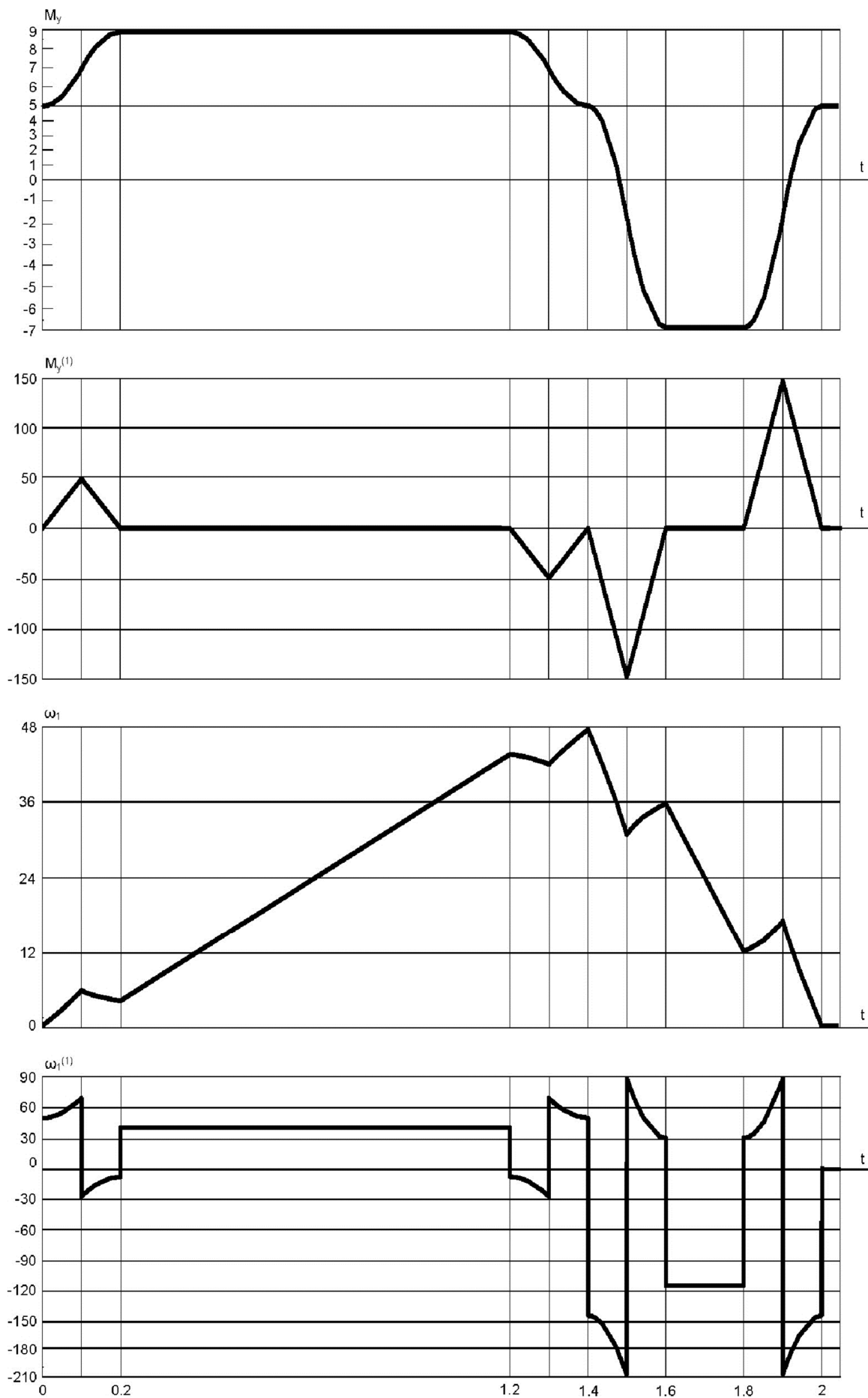


Рисунок 2

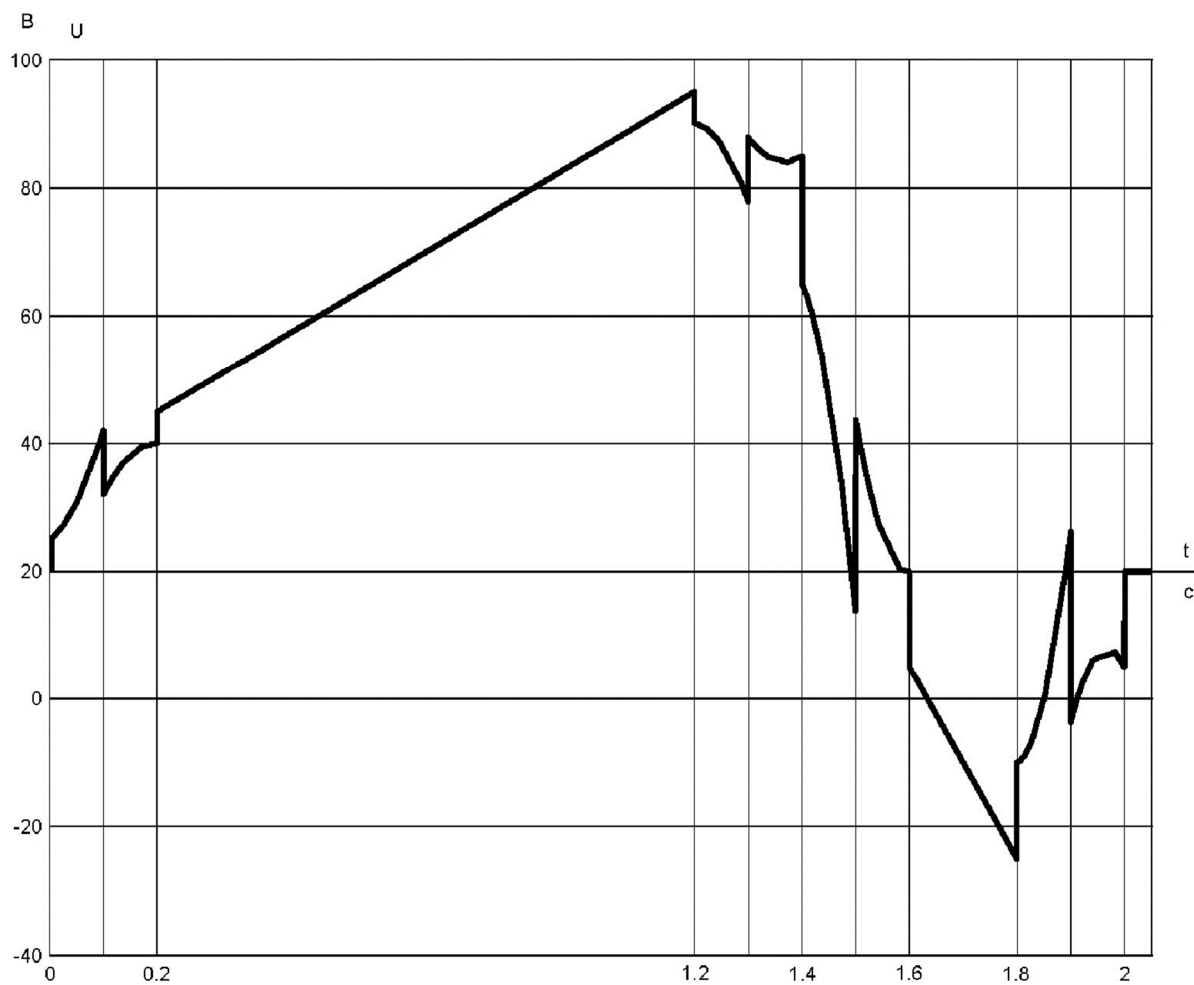
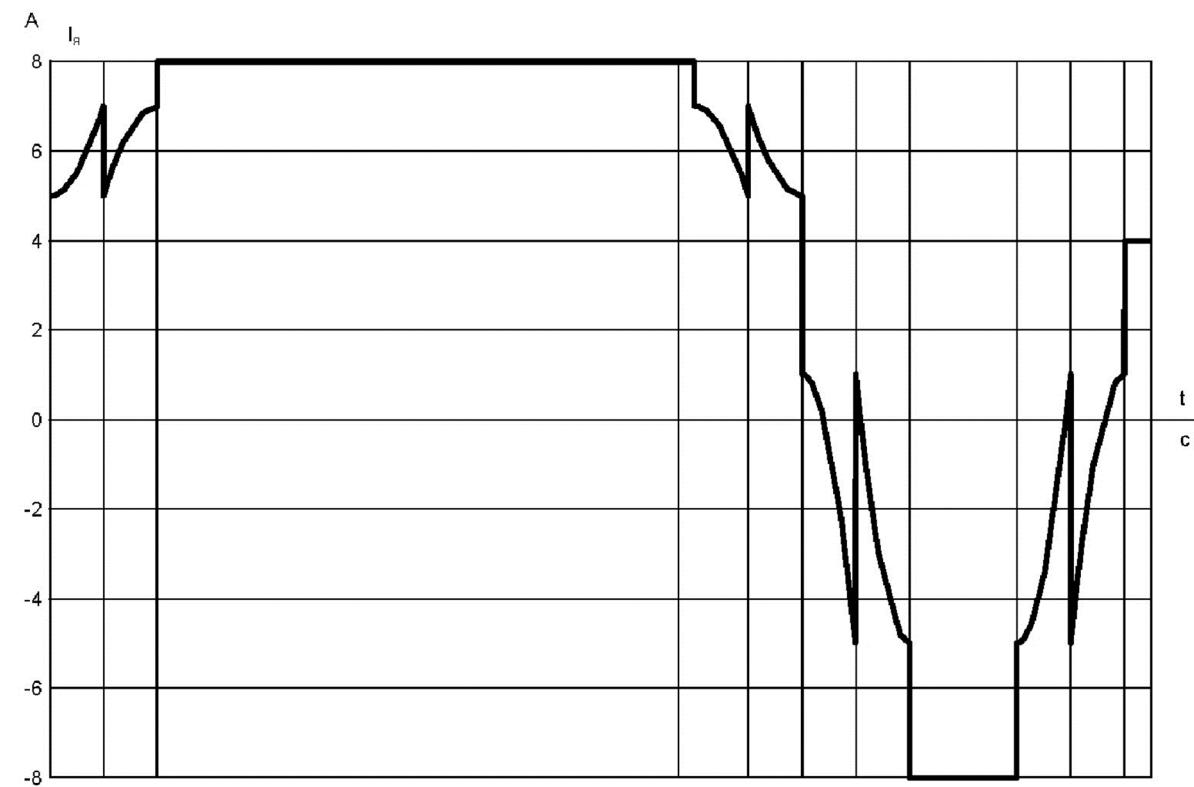


Рисунок 3

Выводы

Принятое в работе допущение о неучете влияния индуктивности якорной цепи, позволило решить поставленную задачу по разработке оптимальной по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы и получить аналитические зависимости для определения ее параметров.

Однако, при реализации данной диаграммы из-за не учета влияния индуктивности якорной цепи появится несанкционированное движение исполнительного органа двухмассовой упругой электромеханической системы.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод : монография / Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.

References:

1. Dobrobaba Yu.P., Litash B.S. Quasi-optimal software-controlled positional electric drive : monograph / Kuban. state technol. un-t. – Krasnodar : Publ. GUO VPO «KubGTU», 2009. – 178 p.

УДК 62

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ РАЗНЫМИ КОРНЯМИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS OF THE SECOND ORDER SYSTEM WITH REAL NEGATIVE DIFFERENT ROOTS OF THE CHARACTERISTIC EQUATION

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Щелканов Глеб Владимирович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. Определены переходные характеристики систем второго порядка с двумя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики систем второго порядка с разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции второго порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы второго порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Shchelkanov Gleb Vladimirovich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The transient characteristics of the second-order systems with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined. It is proved that the transient characteristics of second-order with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree do not overshoot: time constant of the numerator polynomial of the transfer function of the second order is less than or equal to the larger time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the second order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем второго порядка с кратными корнями характеристического уравнения. В данной работе анализируются переходные характеристики системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения.

Передаточная функция системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{20}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)},$$

где $T_1 > T_2$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции второго порядка.

Корни характеристического уравнения системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения:

$$P_1 = -\frac{1}{T_1}; P_2 = -\frac{1}{T_2}.$$

Переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{20}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_3.$$

Первая производная переходной характеристики системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{20}^{(1)}(t) = -\frac{K_1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы второго порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{20}(0) = 0; \\ h_{20}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{20}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечные значения системы второго порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{20}(0) = K_1 + K_3; \\ h_{20}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2}; \\ h_{20}(\infty) = K_3, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_3 = 1;$$

$$\begin{cases} K_1 + K_2 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения принимают значения:

$$K_1 = -\frac{T_1}{T_1 - T_2};$$

$$K_2 = -\frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{20}(t) = -\frac{T_1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1;$$

$$h_{20}^{(1)}(t) = \frac{1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Передаточная функция системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{21}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции второго порядка.

Переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$h_{21}(t) = -\frac{T_1}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1 + \frac{\tau}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{\tau}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

После преобразования переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе принимает вид:

$$h_{21}(t) = -\frac{T_1-\tau}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2-\tau}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Если $\tau = T_1$, то:

$$h_{21}(t) = -e^{-\frac{t}{T_2}} + 1.$$

Если $h_{21}(t_*) = 1$, то справедливы соотношения:

$$(T_1 - \tau) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_1}} = (T_2 - \tau) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_2}};$$

$$(T_1 - \tau) \cdot e^{\frac{(T_1-T_2) \cdot t_*}{T_1 \cdot T_2}} = (T_2 - \tau);$$

$$e^{\frac{(T_1-T_2) \cdot t_*}{T_1 \cdot T_2}} = \frac{(\tau - T_1)}{(\tau - T_2)};$$

$$t_* = \frac{T_1 \cdot T_2}{(T_1 - T_2)} \cdot \ln \frac{(\tau - T_1)}{(\tau - T_2)},$$

где t_* – время, за которое переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции достигает единичного значения.

При этом должно выполняться условие $\tau > T_1$.

Первая производная переходной характеристики системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе получает вид:

$$h_{21}^{(1)}(t) = -\frac{1}{T_1} \cdot \frac{\tau-T_1}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2} \cdot \frac{\tau-T_2}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Так как при $t = t_{\text{экстр}}$ первая производная переходной характеристики равна нулю, то справедливо уравнение:

$$-\frac{1}{T_1} \cdot \frac{\tau-T_1}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_1}} + \frac{1}{T_2} \cdot \frac{\tau-T_2}{T_1-T_2} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_2}} = 0.$$

Из уравнения следует, что:

$$t_{\text{экстр}} = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\tau - T_1}{\tau - T_2} \right),$$

где $t_{\text{экстр}}$ – время, при котором переходная характеристика системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции достигает максимального значения.

В работе принято условие, что $T_1 + T_2 = T$.

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{21}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = T$
0	0	0	0
0,25	0,109142754	0,632120559	0,806446494
0,5	0,297541963	0,864664716	1,053705635
0,75	0,473074373	0,950212931	1,109259119
1	0,613762112	0,981684361	1,104325111
1,25	0,720055569	0,993262053	1,084330881
1,5	0,798236452	0,997521247	1,063949514
1,75	0,85499799	0,999088118	1,047118161
2	0,895942555	0,999664537	1,034237786
2,25	0,925381102	0,99987659	1,024708419
2,5	0,94651171	0,9999546	1,017768897
2,75	0,961666051	0,999983298	1,012755714
3	0,972529614	0,999993855	1,009148603
3,25	0,980316667	0,999997739	1,006558474
3,5	0,985895072	0,999999168	1,004700534
3,75	0,989893233	0,999999694	1,003368514
4	0,992758131	0,999999887	1,002413806
4,25	0,994810954	0,999999958	1,001729627
4,5	0,996281879	0,999999984	1,001239353
4,75	0,997335847	0,999999994	1,000888044
5	0,99809105	0,999999997	1,000636314

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

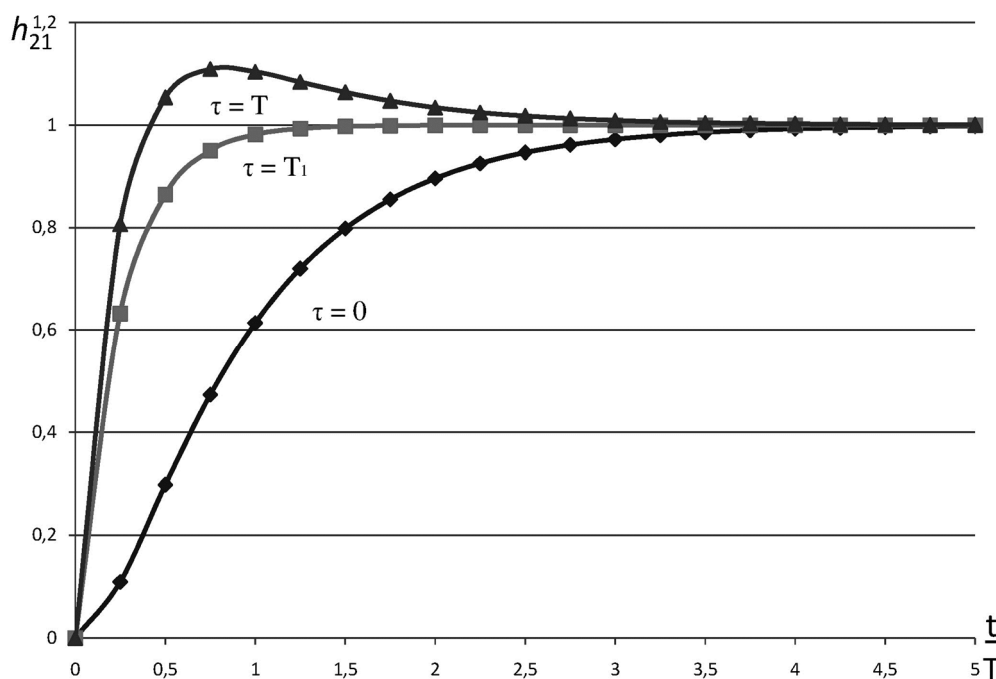


Рисунок 1 – Зависимость h_{21} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Проведена вторая серия численного эксперимента.
Если $\tau = 0,75T$, то

$$t_* = \infty; t_{\text{экстр}} = \infty; h_{\text{макс}} = 1.$$

Если $\tau = 0,8T$, то

$$t_* = 0,899210721T; t_{\text{экстр}} = 1,311190336T; h_{\text{макс}} = 1,011605176.$$

Если $\tau = 0,85T$, то

$$t_* = 0,671909801T; t_{\text{экстр}} = 1,083889409T; h_{\text{макс}} = 1,031426968.$$

Если $\tau = 0,9T$, то

$$t_* = 0,5498764T; t_{\text{экстр}} = 0,961856009T; h_{\text{макс}} = 1,05547002.$$

Если $\tau = 0,95T$, то

$$t_* = 0,469786113T; t_{\text{экстр}} = 0,881765721T; h_{\text{макс}} = 1,08229512.$$

Если $\tau = T$, то

$$t_* = 0,4119799608T; t_{\text{экстр}} = 0,823959216T; h_{\text{макс}} = 1,111111111.$$

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунках 2 и 3 представлены зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$, $\frac{t_*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$ и $h_{\text{макс}}$ от $\frac{\tau}{T}$.

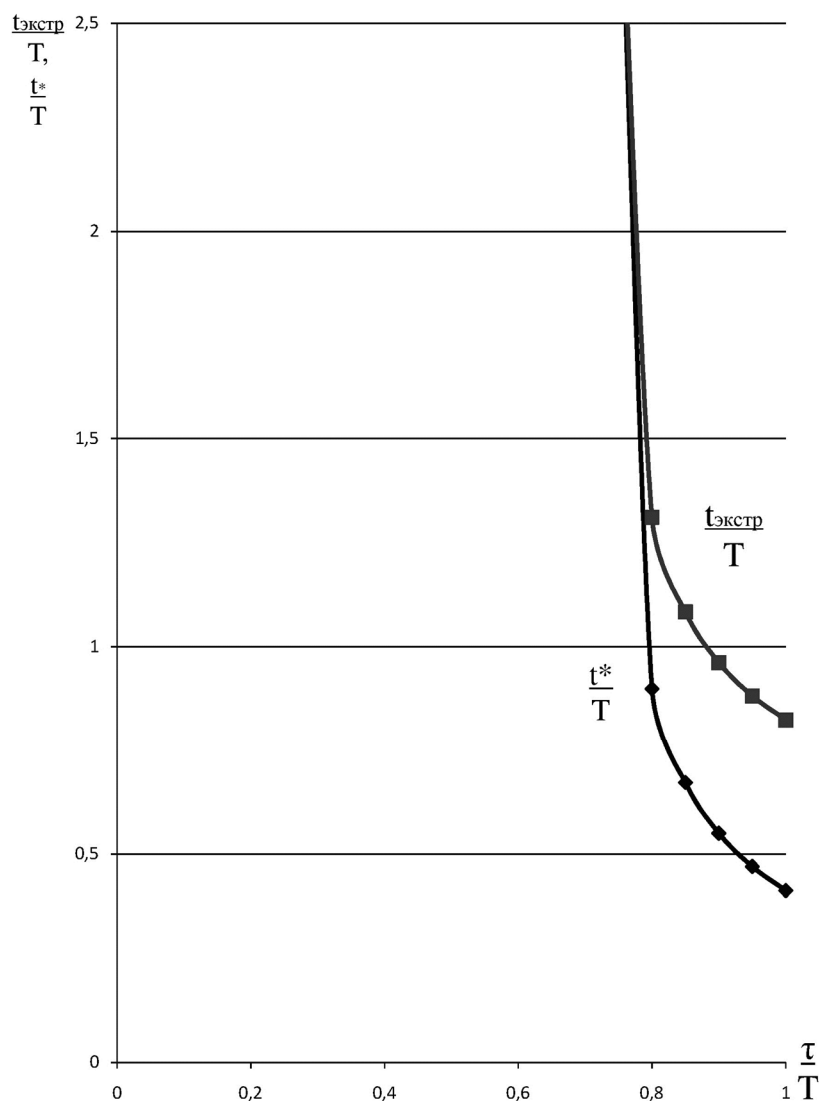


Рисунок 2 – Зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$ и $\frac{t_*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$

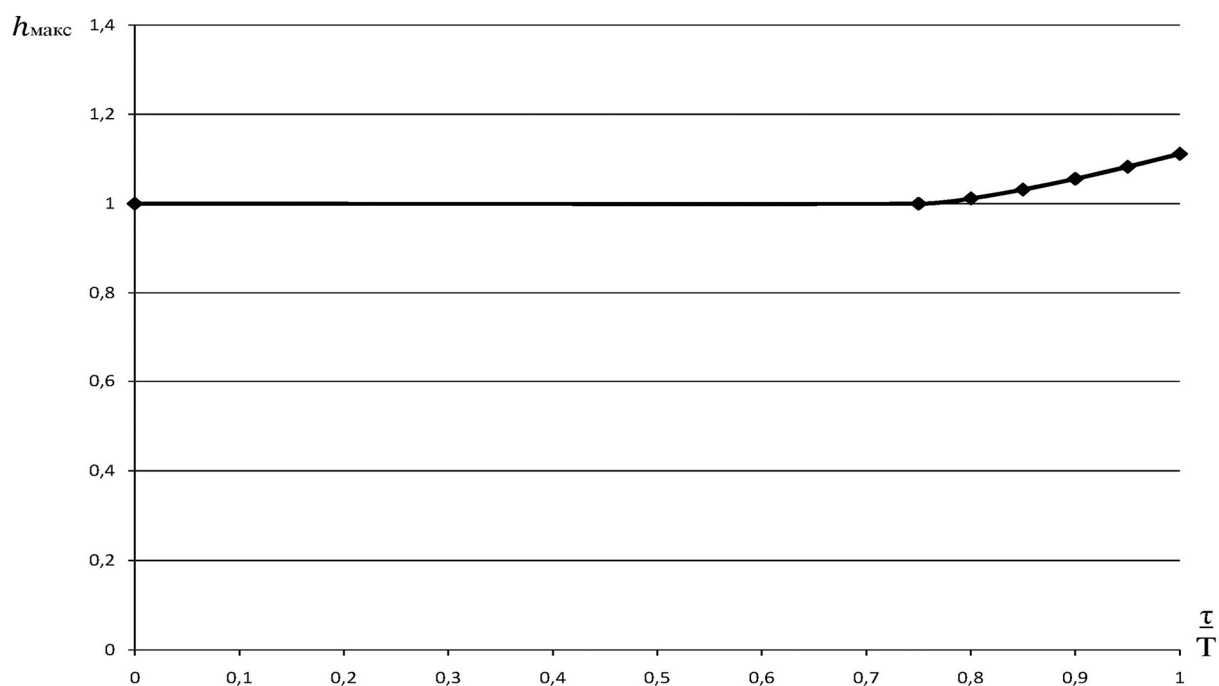


Рисунок 3 – Зависимость h_{\max} от $\frac{\tau}{T}$

Выводы

Получены переходные характеристики систем второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения, как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Проведен первый численный эксперимент, на основании которого получены зависимости переходных характеристик системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Проведен второй численный эксперимент. На его основании получены:

- зависимость времени, при котором переходная характеристика исследуемой системы достигает значения равного единице;
- зависимость времени (экстремальное), при котором переходная характеристика достигает максимального значения;
- зависимость максимального значения переходной характеристики от постоянной времени полинома числителя передаточной функции второго порядка и максимального значения переходной характеристики системы второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции от постоянной времени полинома числителя передаточной функции второго порядка в относительных единицах.

Установлено, что при условии $\tau \leq T_1$ переходные характеристики систем второго порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеет перерегулирования.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем второго порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of the transient characteristics of second order systems with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА
С ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ РАЗНЫМИ КОРНЯМИ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**

**ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS
OF THE THIRD ORDER SYSTEM WITH REAL NEGATIVE DIFFERENT ROOTS
OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Щелканов Глеб Владимирович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. Определены переходные характеристики систем третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики систем третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции третьего порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы третьего порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Shchelkanov Gleb Vladimirovich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The transient characteristics of the third-order systems with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined. It is proved that the transient characteristics of third-order with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree do not overshoot: time constant of the numerator polynomial of the transfer function of the third order is less than or equal to the larger time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the second order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем третьего порядка с кратными корнями характеристического уравнения. В данной работе анализируются переходные характеристики системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения.

Передаточная функция системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{30}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где $T_1 > T_2 > T_3$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции третьего порядка.

Корни характеристического уравнения системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения:

$$P_1 = -\frac{1}{T_1}; P_2 = -\frac{1}{T_2}; P_3 = -\frac{1}{T_3}.$$

Переходная характеристика системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{30}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_4.$$

Первая и вторая производные переходной характеристики системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{30}^{(1)}(t) = -\frac{K_1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}};$$

$$h_{30}^{(2)}(t) = \frac{K_1}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_3}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как начальные и конечные значения системы третьего порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{30}(0) = 0; \\ h_{30}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{30}^{(2)}(0) = 0; \\ h_{30}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечные значения системы третьего порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{30}(0) = K_1 + K_2 + K_3 + K_4; \\ h_{30}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3}; \\ h_{30}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2}; \\ h_{30}(\infty) = K_4, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$K_4 = 1;$$

$$\begin{cases} K_1 + K_2 + K_3 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения принимают значения:

$$K_1 = -\frac{T_1^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)};$$

$$K_2 = \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)};$$

$$K_3 = -\frac{T_3^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{30}(t) = -\frac{T_1^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$-\frac{T_3^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1;$$

$$h_{30}^{(1)}(t) = \frac{T_1}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} +$$

$$+ \frac{T_3}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Передаточная функция системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{31}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции третьего порядка.

Переходная характеристика системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$h_{31}(t) = -\frac{T_1^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$-\frac{T_3^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1 +$$

$$+ \frac{T_1 \tau}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2 \tau}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3 \tau}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

После преобразования переходная характеристика системы третьего порядка с тремя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе принимает вид:

$$h_{31}(t) = -\frac{T_1 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$-\frac{T_3 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Если $\tau = T_1$, то

$$h_{31}(t) = -\frac{T_2}{T_2 - T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3}{T_2 - T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + 1.$$

Если $h_{31}(t_*) = 1$, то

$$T_1 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (\tau - T_1) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_1}} - T_2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (\tau - T_2) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_2}} + T_3 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (\tau - T_3) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_3}} = 0;$$

где t_* – время, за которое переходная характеристика системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции достигает единичного значения.

При этом должно выполняться условие: $\tau > T_1$.

Первая производная переходной характеристики системы третьего порядка с тремя разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе получает вид:

$$h_{31}^{(1)}(t) = -\frac{(\tau - T_1)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{(\tau - T_2)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{(\tau - T_3)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}}.$$

Так как при $t = t_{\text{экстр}}$ первая производная переходной характеристики равна нулю, то справедливо уравнение:

$$\begin{aligned} & -\frac{(\tau - T_1)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_1}} + \frac{(\tau - T_2)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_2}} - \\ & -\frac{(\tau - T_3)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_3}} = 0; \\ & -(T_2 - T_3) \cdot (\tau - T_1) \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_1}} + (T_1 - T_3) \cdot (\tau - T_2) \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_2}} - \\ & -(T_1 - T_2) \cdot (\tau - T_3) \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_3}} = 0. \end{aligned}$$

В работе принято условие, что $T_1 + T_2 + T_3 = T$.

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{31}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = T$
0	0	0	0
0,25	0,057070579	0,313679762	0,570288944
0,5	0,22821758	0,624731552	1,012261592
0,75	0,423283565	0,795711072	1,168138579
1	0,591937356	0,890568469	1,189199581
1,25	0,72129876	0,941418664	1,161538567
1,5	0,814258775	0,968643108	1,12302744
1,75	0,87840311	0,983215819	1,088028528
2	0,921462974	0,991016071	1,06056917
2,25	0,949803775	0,995191249	1,040578723
2,5	0,968183587	0,997426061	1,026668535
2,75	0,979968599	0,99862227	1,01727594
3	0,987457582	0,999262554	1,011067526
3,25	0,99218241	0,999605273	1,007028137
3,5	0,995145865	0,999788718	1,004431571
3,75	0,996995587	0,999886909	1,002778231
4	0,998145493	0,999939467	1,001733442
4,25	0,998857927	0,999967599	1,00107727
4,5	0,999298061	0,999982657	1,000667253
4,75	0,999569308	0,999990717	1,000412126
5	0,999736125	0,999995031	1,000253937

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Проведена вторая серия численного эксперимента.

$$T_1 = 0,5T; T_2 = 0,4T; T_3 = 0,1T.$$

Если $\tau = 0,6T$, то

$$t_* = 1,5153678T; t_{\text{экстр}} = 1,961658T; h_{\text{макс}} = 1,004943846.$$

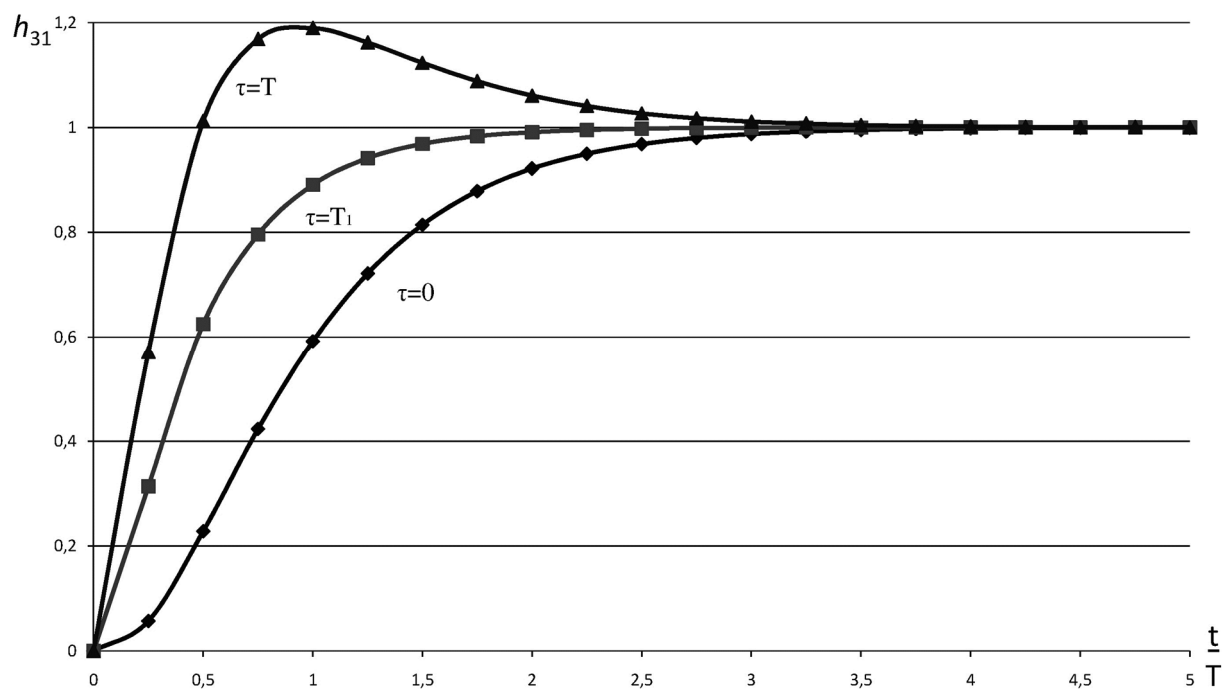


Рисунок 1 – Зависимость h_{21} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Если $\tau = 0,7T$, то

$$t_* = 0,9397901T; t_{\text{экстр}} = 1,3862638T; h_{\text{макс}} = 1,031249523.$$

Если $\tau = 0,8T$, то

$$t_* = 0,7033212T; t_{\text{экстр}} = 1,1505718T; h_{\text{макс}} = 1,075078806.$$

Если $\tau = 0,9T$, то

$$t_* = 0,5726343T; t_{\text{экстр}} = 1,021274T; h_{\text{макс}} = 1,129575488.$$

Если $\tau = T$, то

$$t_* = 0,4889228T; t_{\text{экстр}} = 0,9393534T; h_{\text{макс}} = 1,190672214.$$

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунках 2 и 3 представлены зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$, $\frac{t_*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$ и $h_{\text{макс}}$ от $\frac{\tau}{T}$.

Выводы

Получены переходные характеристики систем третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения, как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Проведен первый численный эксперимент, на основании которого получены зависимости переходных характеристик системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе передаточной функции при различных значениях τ .

Проведен второй численный эксперимент. На его основании получены:

- зависимость времени, при котором переходная характеристика исследуемой системы достигает значения равного единице;
- зависимость времени (экстремальное), при котором переходная характеристика достигает максимального значения;
- зависимость максимального значения переходной характеристики от постоянной времени полинома числителя передаточной функции третьего порядка и максимального значения переходной характеристики системы третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции от постоянной времени полинома числителя передаточной функции третьего порядка в относительных единицах.

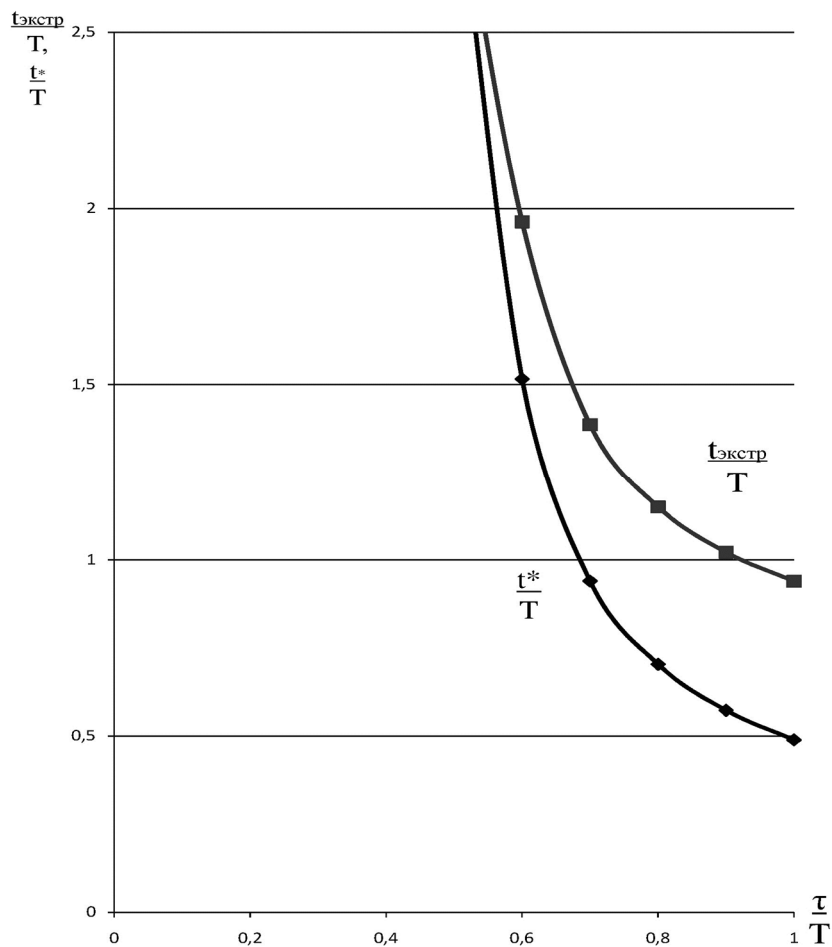


Рисунок 2 – Зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$ и $\frac{t^*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$

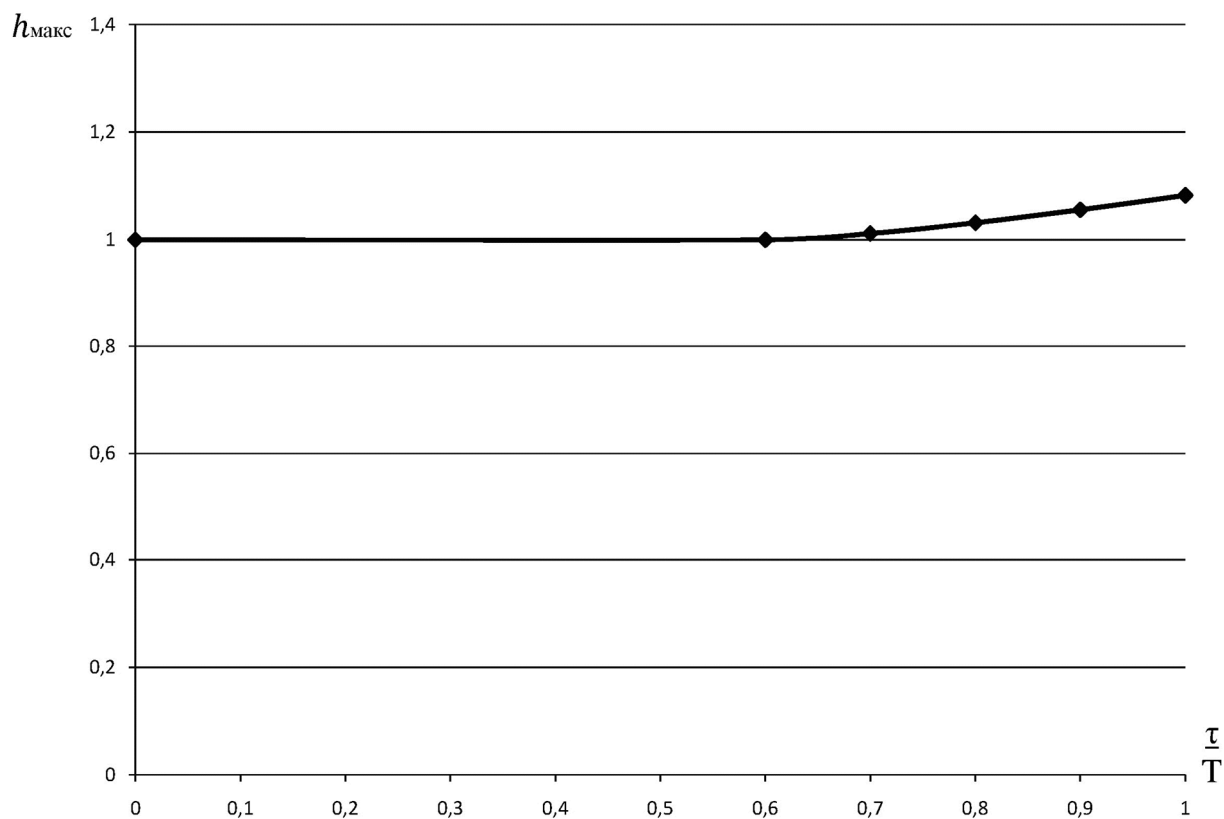


Рисунок 3 – Зависимость $h_{\text{макс}}$ от $\frac{\tau}{T}$

Установлено, что при условии $\tau \leq T_1$ переходные характеристики систем третьего порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени числителя передаточной функции не имеет перерегулирования.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем третьего порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of the transient characteristics of third order systems with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 62

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА
С ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫМИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ РАЗНЫМИ КОРНЯМИ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**

**ANALYSIS OF TRANSITIONAL CHARACTERISTICS
OF THE FOURTH ORDER SYSTEM WITH REAL NEGATIVE DIFFERENT ROOTS
OF THE CHARACTERISTIC EQUATION**

Добробаба Юрий Петрович

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры
электроснабжения промышленных предприятий,
Кубанский государственный
технологический университет

Мурлин Алексей Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и программирования,
Кубанский государственный
технологический университет

Щелканов Глеб Владимирович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет
pchn257@mail.ru

Аннотация. Определены переходные характеристики систем четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом нулевой степени и с полиномом первой степени числителя передаточной функции.

Доказано, что переходные характеристики систем четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеют перерегулирование при условии: постоянная времени полинома числителя передаточной функции четвертого порядка меньше или равна большей постоянной времени знаменателя передаточной функции.

Ключевые слова: переходная характеристика, характеристическое уравнение системы четвертого порядка, корни характеристического уравнения.

Dobrobaba Yury Petrovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Professor of department
of power supply industrial enterprises,
Kuban state technological university

Murlin Aleksey Georgievich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of department
of information systems and programming,
Kuban state technological university

Shchelkanov Gleb Vladimirovich

Student,
Kuban state technological university
pchn257@mail.ru

Annotation. The transient characteristics of the fourth-order systems with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree of the numerator of the transfer function are determined. It is proved that the transient characteristics of fourth-order with different roots of the characteristic equation with a polynomial of zero degree and with a polynomial of the first degree do not overshoot: time constant of the numerator polynomial of the transfer function of the fourth order is less than or equal to the larger time constant of the denominator of the transfer function.

Keywords: transient response, characteristic equation of the second order system, roots of the characteristic equation.

В статье [1] выполнен анализ переходных характеристик систем четвертого порядка с кратными корнями характеристического уравнения. В данной работе анализируются переходные характеристики системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения.

Передаточная функция системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$W_{40}(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1)},$$

где $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$ – постоянные времени полинома знаменателя передаточной функции четвертого порядка.

Корни характеристического уравнения системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения:

$$P_1 = -\frac{1}{T_1}; P_2 = -\frac{1}{T_2}; P_3 = -\frac{1}{T_3}; P_4 = -\frac{1}{T_4}.$$

Переходная характеристика системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{40}(t) = K_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + K_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + K_3 \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + K_4 \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + K_5.$$

Первая и вторая производные переходной характеристики системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения имеет вид:

$$h_{40}^{(1)}(t) = -\frac{K_1}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_4}{T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{40}^{(2)}(t) = \frac{K_1}{T_1^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{K_2}{T_2^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{K_3}{T_3^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{K_4}{T_4^2} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}};$$

$$h_{40}^{(3)}(t) = -\frac{K_1}{T_1^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{K_2}{T_2^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{K_3}{T_3^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{K_4}{T_4^3} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}}.$$

Так как начальные и конечное значения передаточной функции четвертого порядка (с точки зрения физики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{40}(0) = 0; \\ h_{40}^{(1)}(0) = 0; \\ h_{40}^{(2)}(0) = 0; \\ h_{40}^{(3)}(0) = 0; \\ h_{40}(\infty) = 1, \end{cases}$$

а начальные и конечное значения передаточной функции четвертого порядка (с точки зрения математики) имеют вид:

$$\begin{cases} h_{40}(0) = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5; \\ h_{40}^{(1)}(0) = -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3} - \frac{K_4}{T_4}; \\ h_{40}^{(2)}(0) = \frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2} + \frac{K_4}{T_4^2}; \\ h_{40}^{(3)}(0) = -\frac{K_1}{T_1^3} - \frac{K_2}{T_2^3} - \frac{K_3}{T_3^3} - \frac{K_4}{T_4^3}; \\ h_{40}(\infty) = K_5, \end{cases}$$

то справедливы соотношения:

$$\begin{cases} K_5 = 1; \\ K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + 1 = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1} - \frac{K_2}{T_2} - \frac{K_3}{T_3} - \frac{K_4}{T_4} = 0; \\ \frac{K_1}{T_1^2} + \frac{K_2}{T_2^2} + \frac{K_3}{T_3^2} + \frac{K_4}{T_4^2} = 0; \\ -\frac{K_1}{T_1^3} - \frac{K_2}{T_2^3} - \frac{K_3}{T_3^3} - \frac{K_4}{T_4^3} = 0. \end{cases}$$

Остальные коэффициенты переходной характеристики системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения принимают значения:

$$K_1 = -\frac{T_1^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)};$$

$$K_2 = \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)};$$

$$K_3 = -\frac{T_3^3}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)};$$

$$K_4 = \frac{T_4^3}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)}.$$

Таким образом, переходная характеристика системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения и её первая производная соответственно равны:

$$h_{40}(t) = -\frac{T_1^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^3}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$-\frac{T_3^3}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4^3}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1;$$

$$h_{40}^{(1)}(t) = \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} +$$

$$+ \frac{T_3^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} - \frac{T_4^2}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}}.$$

Передаточная функция системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$W_{41}(p) = \frac{\tau p + 1}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) \cdot (T_4 p + 1)},$$

где τ – постоянная времени полинома числителя передаточной функции четвертого порядка; $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$.

Переходная характеристика системы четвертого порядка с четырьмя действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе имеет вид:

$$h_{41}(t) = -\frac{T_1^2 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2^2 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} -$$

$$-\frac{T_3^2 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4^2 \cdot (T_4 - \tau)}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1.$$

Если $\tau = T_1$, то

$$h_{41}(t) = \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3^2}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} +$$

$$+ \frac{T_4^2}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} + 1.$$

Если $h_{41}(t_*) = 1$, то

$$T_1^2 \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4) \cdot (\tau - T_1) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_1}} -$$

$$- T_2^2 \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_3 - T_4) \cdot (\tau - T_2) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_2}} +$$

$$+ T_3^2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (\tau - T_3) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_3}} -$$

$$- T_4^2 \cdot (T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (\tau - T_4) \cdot e^{-\frac{t_*}{T_4}} = 0;$$

где t_* – время, за которое переходная характеристика системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе достигает единичного значения.

Первая производная переходной характеристики системы четвертого порядка с четырьмя разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе получает вид:

$$h_{41}^{(1)}(t) = -\frac{T_1 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \frac{T_3 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4 \cdot (T_4 - \tau)}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}}.$$

Так как при $t = t_{\text{экстр}}$ первая производная переходной характеристики равна нулю, то справедливо уравнение:

$$-\frac{T_1 \cdot (T_1 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_1 - T_3) \cdot (T_1 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_1}} + \frac{T_2 \cdot (T_2 - \tau)}{(T_1 - T_2) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_2 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_2}} - \frac{T_3 \cdot (T_3 - \tau)}{(T_1 - T_3) \cdot (T_2 - T_3) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_3}} + \frac{T_4 \cdot (T_4 - \tau)}{(T_1 - T_4) \cdot (T_2 - T_4) \cdot (T_3 - T_4)} \cdot e^{-\frac{t_{\text{экстр}}}{T_4}} = 0.$$

В работе принято условие, что $T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = T$.

Проведена первая серия численного эксперимента, результаты которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты первой серии численного эксперимента

$\frac{t}{T}$	h_{41}		
	$\tau = 0$	$\tau = T_1$	$\tau = T$
0	0	0	0
0,25	0,025282223	0,14928475	0,335288539
0,5	0,166552468	0,475030808	0,937748319
0,75	0,378382365	0,724411948	1,243456319
1	0,57908137	0,866396118	1,29736824
1,25	0,732920202	0,937952613	1,245501226
1,5	0,837894043	0,971891423	1,172887494
1,75	0,904624687	0,987456484	1,111704178
2	0,945127532	0,994454747	1,068445584
2,25	0,968944604	0,997563149	1,04049097
2,5	0,982638571	0,998933243	1,023375253
2,75	0,990384154	0,999534181	1,016549845
3	0,994712108	0,999796923	1,007424146
3,25	0,997108204	0,999911562	1,0041166
3,5	0,998425408	0,999961513	1,002265672
3,75	0,999145553	0,999983237	1,001239817
4	0,999537591	0,99999272	1,000675415
4,25	0,999750291	0,999996835	1,00036665
4,5	0,999865384	0,999998623	1,000198484
4,75	0,99992753	0,999999402	1,00010721
5	0,99998296	0,99999974	1,000057806

По результатам первой серии численного эксперимента на рисунке 1 представлены зависимости переходных характеристик системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе при различных значениях τ .

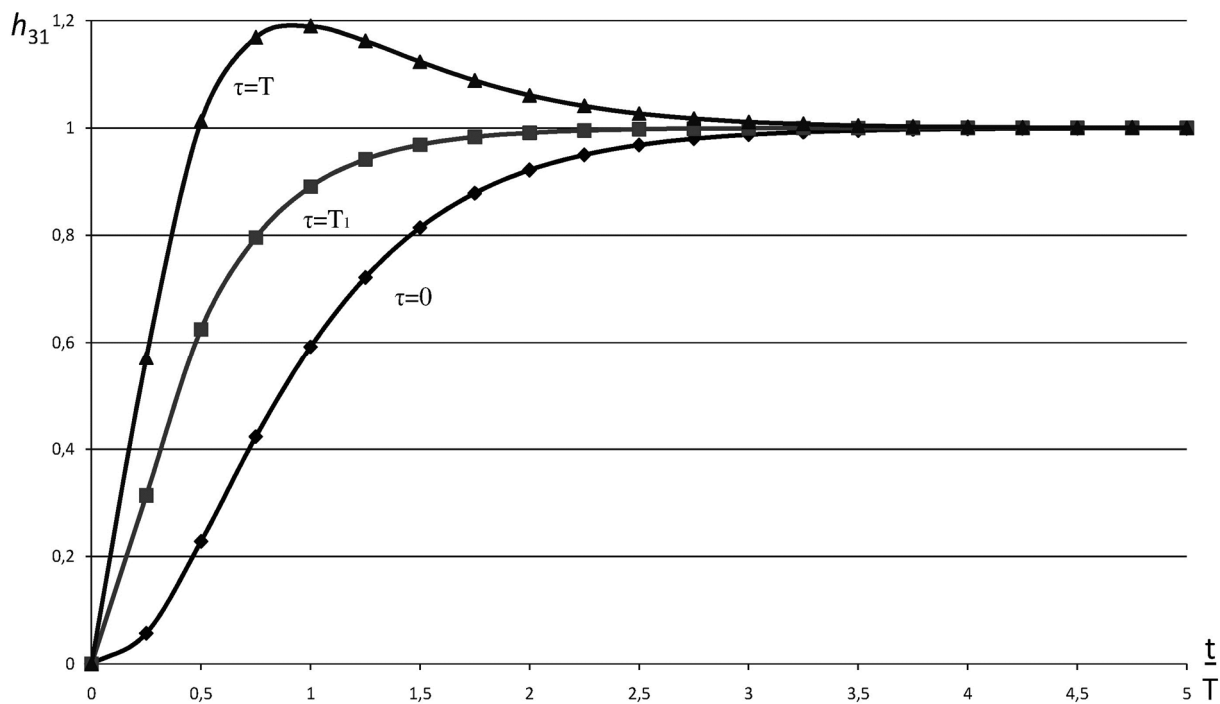


Рисунок 1 – Зависимость h_{21} от $\frac{t}{T}$ при различных τ

Проведена вторая серия численного эксперимента.

$$T_1 = 0,4T; T_2 = 0,3T; T_3 = 0,2T; T_4 = 0,1T.$$

Если $\tau = 0,5T$, то

$$t_* = 1,376112T; t_{\text{экстр}} = 1,7365824T; h_{\text{макс}} = 1,007090151.$$

Если $\tau = 0,6T$, то

$$t_* = 0,9623066T; t_{\text{экстр}} = 1,3394604T; h_{\text{макс}} = 1,020467941.$$

Если $\tau = 0,7T$, то

$$t_* = 0,7746294T; t_{\text{экстр}} = 1,1658764T; h_{\text{макс}} = 1,082590817.$$

Если $\tau = 0,8T$, то

$$t_* = 0,6635828T; t_{\text{экстр}} = 1,0667753T; h_{\text{макс}} = 1,153071309.$$

Если $\tau = 0,9T$, то

$$t_* = 0,5888239T; t_{\text{экстр}} = 1,0022919T; h_{\text{макс}} = 1,225282003.$$

Если $\tau = T$, то

$$t_* = 0,534426T; t_{\text{экстр}} = 0,95685954T; h_{\text{макс}} = 1,29875667.$$

По результатам второй серии численного эксперимента на рисунках 2 и 3 представлены зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$, $\frac{t_*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$ и $h_{\text{макс}}$ от $\frac{\tau}{T}$.

Выводы

Получены переходные характеристики систем четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения, как с полиномом нулевой степени, так и с полиномом первой степени.

Проведен первый численный эксперимент, на основании которого получены зависимости переходных характеристик системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени в числителе при различных значениях τ .

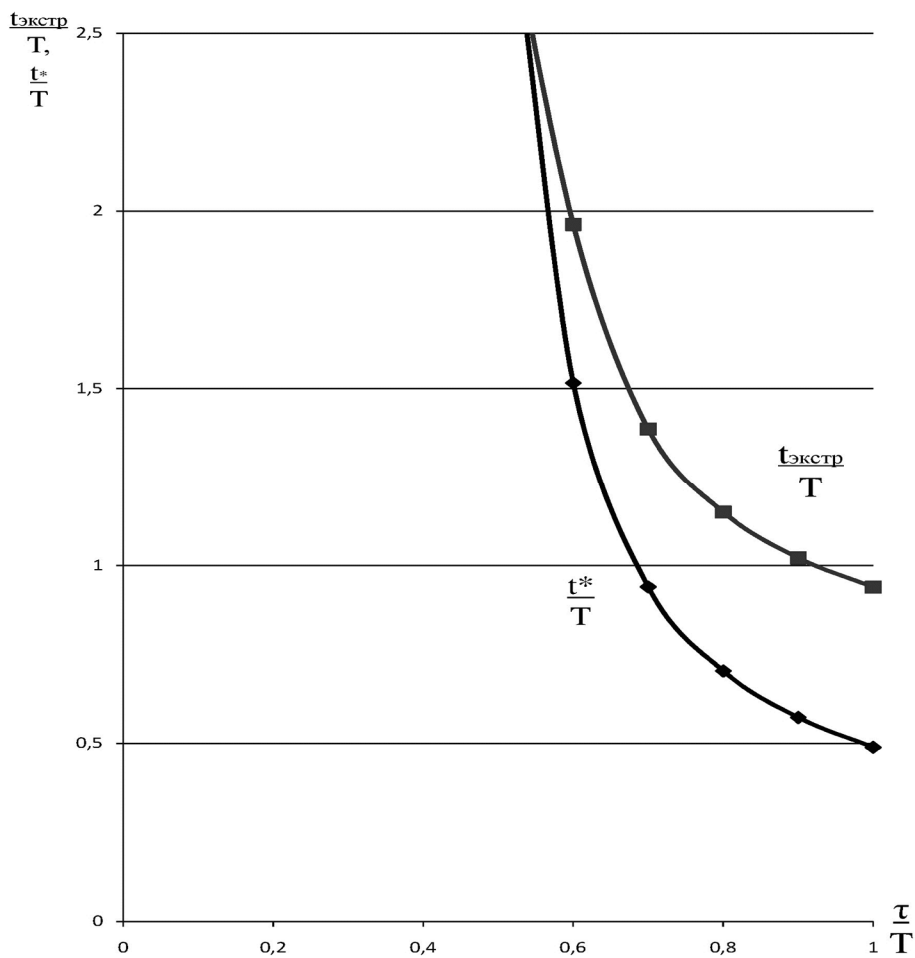


Рисунок 2 – Зависимости $\frac{t_{\text{экстр}}}{T}$ и $\frac{t^*}{T}$ от $\frac{\tau}{T}$

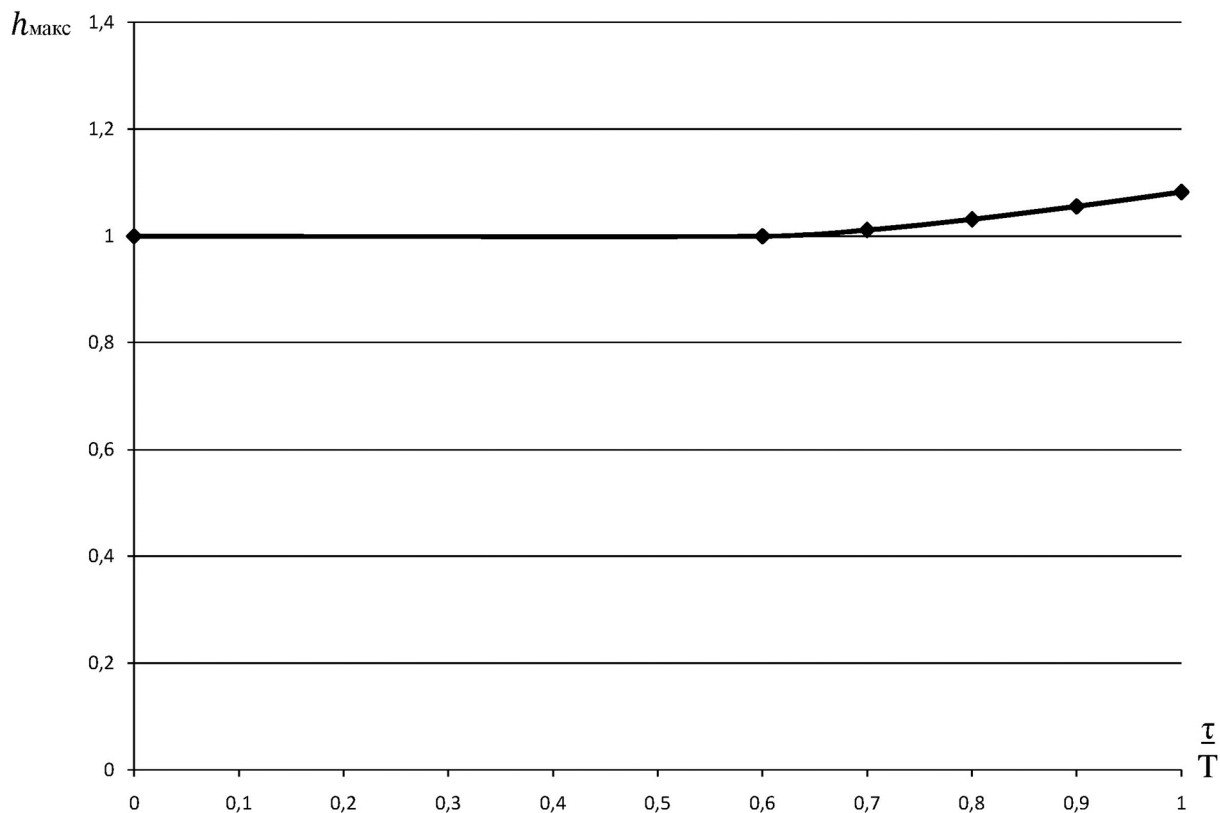


Рисунок 3 – Зависимость $h_{\text{макс}}$ от $\frac{\tau}{T}$

Проведен второй численный эксперимент. На его основании получены:

- зависимость времени, при котором переходная характеристика исследуемой системы достигает значения равного единице;
- зависимость времени (экстремальное), при котором переходная характеристика достигает максимального значения;
- зависимость максимального значения переходной характеристики от постоянной времени полинома числителя передаточной функции четвертого порядка и максимального значения переходной характеристики системы четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени от постоянной времени полинома числителя передаточной функции четвертого порядка в относительных единицах.

Установлено, что при условии $\tau \leq T_1$ переходные характеристики систем четвертого порядка с действительными отрицательными разными корнями характеристического уравнения с полиномом первой степени не имеет перерегулирования.

Литература:

1. Добробаба Ю.П., Мурлин А.Г., Серкин А.Д. Анализ переходных характеристик систем четвертого порядка с кратными корнями характеристического уравнения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1.

References:

1. Dobrobaba Y.P., Murlin A.G., Serkin A.D. Analysis of the transient characteristics of fourth-order systems with multiple roots of the characteristic equation // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1.

УДК 664.8 613.2/637.04.

**СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ОБОГАЩЕНИЮ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
ЭССЕНЦИАЛЬНЫМИ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ**

**MODERN METHODOLOGICAL APPROACH TO THE ENRICHMENT OF
FOOD ESSENTIAL TRACE ELEMENTS**

Медведев А.М.

Кубанский государственный
технологический университет
aleks.docs@yandex.ru

Магомедов А.М.

Кубанский государственный
технологический университет

Мишкевич Э.Ю.

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Микроэлементы представляют собой химические компоненты, встречающиеся в почве и растениях в мельчайших концентрациях. Они необходимы для оптимального развития и метаболического функционирования организма, такого как правильный клеточный метаболизм, эффективная иммунная функция и здоровое размножение человека. По классификации ВОЗ, 19 известных микроэлементов подразделяются на три группы: незаменимые элементы, условно незаменимые элементы и потенциально токсичные элементы. Проанализированы биофизические свойства микроэлементов, входящих в состав ферментов и витаминов. Сформулированы методологические подходы к созданию продуктов питания с гарантированным содержанием йода, марганца, кобальта и селена. Приведены рецептуры и технологии производства консервированных продуктов, обогащенных микроэлементами. Описана природа эссенциальных биогенных микроэлементов; – обоснован выбор наиболее значимых микроэлементов, входящих в состав консервированных продуктов; исследована роль химических элементов в организме животных, птиц и рыб; – разработана технология консервов с повышенным содержанием эссенциальных микроэлементов.

Ключевые слова: эссенциальные микроэлементы, йод, марганец, кобальт, селен, цинк, премиксы, продукты с микроэлементами.

Medvedev A.M.

Kuban state technological university
aleks.docs@yandex.ru

Magomedov A.M.

Kuban state technological university

Mickevich E.Y.

Kuban state technological university

Annotation. Trace elements are chemical components found in soil and plants in minute concentrations. They are essential for optimal development and metabolic functioning of the body, such as natural cell metabolism, effective immune function and healthy human reproduction. According to the WHO classification, the 19 known trace elements fall into three groups: essential elements, conditionally essential elements and potentially toxic elements. The biophysical properties of microelements included in enzymes and vitamins were analyzed. Methodological approaches to the creation of food products with a guaranteed content of iodine, manganese, cobalt and selenium are formulated. The formulations and production technologies of conserved products enriched with trace elements are given. The nature of essential biogenic microelements is described; – the choice of the most significant microelements, which are a part of the canned products, is proved; the role of chemical elements in an organism of animals, birds and fishes is investigated; – the technology of devices with the increased content of essential microelements is developed.

Keywords: essential trace elements, iodine, manganese, cobalt, selenium, zinc, premixes, products with trace elements.

Актуальность выполняемых авторами исследований обусловлена рядом отличительных факторов: – недостаточностью научно-практической информации о роли эссенциальных микроэлементов при производстве мясорастительных продуктов; – наличием пробелов в рекомендациях по обогащению продуктов неорганическими формами микроэлементов, которые могут пагубно влиять на здоровье человека; – увеличением числа заболеваний, связанных с дефицитом микроэлементов в организме человека и животных; – потребностью в осмыслении существующей на сегодняшний день ситуации со снижением дефицита незаменимых микронутриентов в питании человека, животных, птиц и рыб.

В природе существует определенный кругооборот и взаимосвязь, при которой микроэлементы марганец (Mn^{2+}), железо (Fe^{2+}), кобальт (Co^{2+}), медь (Cu^{2+}) и цинк (Zn^{2+}) и другие, извлекаются растениями из почвы, поедаются животными, а мясо животных и молоко служат пищей человеку.

Известно, что значительная часть территории страны, включая некоторые районы Краснодарского края, относятся к биогеохимическим провинциям, дефицитным по содержанию ряда эссенциальных микроэлементов, включая йод и селен. Наблюдаемый в ряде регионов края антропогенный прессинг и отсутствие в пище важнейших микроэлементов влияет на состояние здоровья населения. Следует иметь в виду, что в настоящее время целый ряд индустриально развитых стран уже приняли меры по обогащению продуктов питания необходимыми микроэлементами, среди которых особо выделяются йод и селен, влияющих на гормональную деятельность систем человека.

В научно-технической литературе активно обсуждаются способы обогащения пищевых продуктов незаменимыми микроэлементами, участвующих в процессах обмена веществ. Предпочтение отдается включению в состав кормов солей эссенциальных микроэлементов, позволяющих получать мясные продукты с гарантированным содержанием ряда микроэлементов [1, 10]. Приведены примеры обогащения баранины эссенциальными микроэлементами с целью ее использования в технологии функциональных продуктов [2].

Трудами аспирантов и соискателей кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» КубГТУ подтверждена целесообразность обогащения пищевых продуктов эссенциальными микроэлементами [4–6]. Особое внимание привлекают исследования по оценке роли эссенциальных микроэлементов в продуктах питания. Приводятся примеры обогащения йодом, кобальтом и селеном мясорастительных паштетов и колбас [7, 9, 11]. Расчет оптимального содержания микроэлементов в премиксах проводили с использованием методов математического моделирования [3].

Важность применения методологических подходов к созданию специализированных продуктов питания проиллюстрирована в работе [8].

Теоретические проблемы конструирования пищевых продуктов, содержащих эссенциальные нутриенты, подробно рассматривались на международных научно-практических конференциях, проводимых в 2018–2019 гг. на базе КубГТУ [4, 12, 13]. Большой интерес к оценке статуса микроэлементов в физиологии человека проявляют зарубежные специалисты [14]. Они обсуждают также роль микроэлементов в жизни животных и содержание эссенциальных минеральных веществ в мясорастительных продуктах [15, 16]. Особенности преодоления дефицита микроэлементов в пищевых средах посвящены ряд статей. Имеются также публикации о использовании большого перечня эссенциальных микроэлементов в медицинской практике.

Присутствие в продуктах питания микроэлементов в биотических дозах активно влияет на ход обменных и других биохимических процессов в организме человека. Основные микроэлементы содержатся в продуктах растительного происхождения, а в продуктах животного происхождения их значительно меньше. Это является одним из доводов, почему авторы разрабатывали технологию продуктов питания с мясорастительным составом.

Несмотря на значительный массив информации о роли микроэлементов в жизни человека и животных, в этом учении еще имеется много «белых пятен», например зависимость биохимической роли микроэлемента от нахождения в определенной клетке периодической системы таблицы Д.И. Менделеева.

Выполнение данной работы будет способствовать привлечению внимания исследователей к полноценному питанию и здоровому образу жизни, так как только здоровый человек может в полной мере реализовать свои интеллектуальные и творческие способности.

Цель исследования заключалась в разработке технологии пищевых продуктов с гарантированным содержанием эссенциальных микроэлементов

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи: – выявить природу эссенциальных биогенных микроэлементов йода, кобальта, марганца, селена и цинка; – обосновать выбор наиболее значимых микроэлементов, входящих в

**Отраслевые научные и прикладные исследования:
Производство, переработка и хранение сельскохозяйственной продукции**

состав консервированных продуктов; исследовать роль химических элементов: йода, кобальта, марганца, селена и цинка в организме животных, птиц и рыб; – разработать и запатентовать технологию консервов с повышенным содержанием эссенциальных микроэлементов.

Предметом исследования выбраны микроэлементы йод, кобальт, марганец, селен и цинк, входящие в состав многих гормонов, витаминов и ферментов.

Трудами многих исследователей установлена важная роль микроэлементов в питании и жизнедеятельности человека. За счет включения в состав кормов для животных некоторых микроэлементов, типа марганец (Mn^{2+}), железо (Fe^{2+}), кобальт (Co^{2+}), медь (Cu^{2+}) и цинк (Zn^{2+}) и других, возможно снижение стрессовых воздействий на животных и активизация деятельности ферментов.

Эссенциальные микроэлементы относят к биогенным факторам питания. С их участием в организме происходят важные биохимические процессы, осуществляются пластические операции, регенерация тканей организма, поддержание кислотно-щелочного равновесия, оптимизация состава крови и нормализация водно-солевого обмена.

Представляет интерес получить информацию о содержании микроэлементов в теле человека. В таблице 1 приведено содержание некоторых микроэлементов в теле человека весом до 70 кг.

Таблица 1 – Содержание некоторых микроэлементов в теле человека

Элемент	Относительная атомная масса	Содержание г/70 кг	Количество в молях на 70 кг тела	Число атомов в теле	Число атомов в клетке
Водород	1	7000	3500	$4,2 \times 10^{27}$	$4,2 \times 10^{13}$
Йод	126,9	0,03	0,00024	$1,5 \times 10^{20}$	$1,5 \times 10^6$
Кобальт	59	0,003	0,00005	$0,3 \times 10^{20}$	$0,3 \times 10^4$
Марганец	55	0,02	0,00036	$2,2 \times 10^{20}$	$2,2 \times 10^6$
Селен	78,9	0,02	0,00025	$1,5 \times 10^{20}$	$1,5 \times 10^6$

Практически все биохимические процессы в организме выполняются с участием базовых микроэлементов, входящих в состав ферментов и витаминов. Социологи утверждают, что почти два млрд. людей имеют дефицит этих соединений.

Большая часть химических элементов поступает в организм из продуктов питания растительного или животного происхождения или с питьевой водой.

На рисунке 1 показаны циклы микроэлементов в природе.



Рисунок 1 – Циклы микроэлементов в природе

Содержание микроэлементов в биологических объектах определяли способами атомно-адсорбционной спектрометрии, инверсионной вольтамперометрии и флуориметрическим методом.

**Отраслевые научные и прикладные исследования:
Производство, переработка и хранение сельскохозяйственной продукции**

Несбалансированное соотношение в пищевом рационе минеральных веществ неизбежно приводит к серьезным патологическим нарушениям в организме человека. Таким образом, обязательным условием нормальной активности иммунной системы является достаточное обеспечение минеральными веществами. Методология проектирования продуктов питания, обогащенных микроэлементами, включает 7 этапов.

С участием авторов разработаны этапы методологического подхода к созданию продуктов питания, обогащенных незаменимыми микроэлементами.

Таблица 2 – Методологические принципы создания продуктов питания с гарантированным содержанием микроэлементов

Пути достижения	Виды исполнения
Оценка физиологического воздействия нутриентов на организм человека	I, Fe, Co, Mg, Mn, Se, P, Zn
Рекомендуемые нормы потребления микроэлементов	I, Co, Mn, Se
Содержание микроэлементов в пищевых продуктах	Молоко, сливки, творог
Разработка рецептур премиксов	Для животных, птиц и рыб
Оценка содержания микроэлементов в сырье, прошедшем модификацию	Гарантированное содержание 25 % от суточной потребности (в 100 г продукта)
Выбор базовых продуктов	Паштет, голубцы
Разработка оптимально-сбалансированных рецептур продуктов	Алгоритм математического моделирования рецептурных смесей

В таблице 3 перечислены основные физиологические функции макро- и микроэлементов в организме человека.

Таблица 3 – Физиологическая роль макро- и микроэлементов в организме человека

Элемент	Физиологическое воздействие
Фосфор	Стимулирует работу головного мозга
Железо	Участвует в транспортировке эритроцитами кислорода к органам и тканям
Магний	Участвует в синтезе белков в организме, способствует функциональной активности сердечнососудистой, нервной и мышечной системам, обеспечивает прочность костям
Кальций	Обеспечивает структуру костей и зубов
Медь	Совместно с железом и кобальтом в процессах образования гемоглобина и кроветворения в целом
Марганец, Фтор	Участвуют в формировании зубов и костей
Йод	Участвует в выработке гормона тироксина, обеспечивая функциональную активность щитовидной железы, участвует в обменных процессах
Селен	Обладая антиоксидантными свойствами, совместно с витамином Е защищает организм от свободных радикалов
Цинк	Участвует в обменных процессах и обеспечивает функциональную активность иммунной системы

Таблица 4 – Рекомендации норм потребления йода, кобальта, марганца, селена

Группа населения	Норма потребления, мкг/сутки			
	I	Co	Mn	Se
Дети (0–9 месяцев)	90	–	–	20
Дети (6–12 лет)	120	10	500	30
Дети (>13 лет) и взрослые	150	20	1000	50
Беременные и женщины в период лактации	200	40	800	65
Женщины старше 60 лет	150	50	2000	55
Мужчины старше 60 лет	150	50	2000	70
Спортсмены с высокими физическими нагрузками	200	60	8000	89

**Отраслевые научные и прикладные исследования:
Производство, переработка и хранение сельскохозяйственной продукции**

Как видно из данных таблицы 4, наибольшая потребность организма взрослых и детей наблюдается для марганца.

В таблице 5 показано, какие макро и микроэлементы содержатся в молочных продуктах питания.

Таблица 5 – Содержание микроэлементов в молочных продуктах

Молочные продукты	Fe	I	Co	Mn	Cu	Mo	F	Zn	Se
Сухое молоко	0,52	0,05	0,007	0,05	0,121	0,036	0,11	3,4	–
Козье молоко	0,01	0,002	–	0,017	0,02	0,007	–	–	–
Кумыс	0,1	–	0,001	0,003	0,022	–	–	0,21	–
Молоко коровье	0,067	0,009	0,0008	0,006	0,012	0,005	0,02	0,4	–
Молоко сгущенное	0,206	0,007	0,002	0,007	0,03	–	0,035	1	–
Сливки 20 %	0,2	0,009	0,0003	0,003	0,021	0,005	0,017	0,26	–
Творог жирный	0,461	–	0,001	0,008	0,074	0,007	0,032	0,394	–

С целью компенсации дефицита незаменимых микроэлементов в кормах для животных, птиц и рыб, рекомендуется использовать разработанные в КубГТУ премиксы.

Компоновка рецептур новых минеральных премиксов, выбранных для экспериментов, базировалась на ранее выполненных исследованиях Мишанина А.Ю. и Хворостовой Т.Ю., которые предложили минеральную добавку к кормам для животных – амилотрилин. Добавка была изготовлена на основе картофельного крахмала и содержала в 1 г: стабилизированный йод – 10 мг, селен – 4 мг и кобальт – 14 мг.

С участием авторов был разработан принципиально иной премикс на инертных носителях, предназначенный для включения в состав кормов для животных, птиц и рыб. В таблице 6 приведены рецептуры разработанных премиксов.

Таблица 6 – Рецептуры минеральных премиксов, г/100 г носителя

Назначение премикса	Основной носитель	Микроэлементы				
		I	Co	Mn	Se	Zn
Добавка в корм для животных	Мука из ракушечника	3	5	6	2,5	3,5
Добавка в корм для птиц	Порошок из яичной скорлупы	2	4	7	2,0	5,0
Добавка в корм для рыб	Порошок коллагена	4	4	6	1,5	4,5

Главным отличием разработанных премиксов от ранее известных, заключается в использовании органических форм микроэлементов: йодированный белок, аскорбинат кобальта, хелатное соединение марганца с метионином и молочной кислотой, селенметионин и глицинат цинка.

Подготовленное по рецептуре сырье поступает в загрузочный бункер, перемешивается установленным внутри бункера шнековым ворошителем и подается внутрь цилиндра экструдера.

Экструдер имеет разделенные температурные зоны, обогреваемые инфракрасными излучателями. Пройдя через все температурные зоны, сырье интенсивно выталкивается из аппарата под давлением паров CO₂ через вращающийся нарезатель с матрицей.

С помощью установленных на приводах частотных преобразователей, имеется возможность бесступенчато регулировать скорость вращения. Установка обеспечена автоматизированной системой управления. На рисунке 2 приведена структурная схема модернизированного экструзионного модуля для производства минерального премикса на перерабатывающем предприятии ООО «НПФ Плазма К».

Отличительной особенностью приведенного на рисунке 2 экструзионного модуля, от ранее известных конструкций, является возможность плавного регулирования заданной скорости вращения шнеков экструдера и ворошителя, а также нарезателя с матрицей, за счет использования частотных преобразователей электроэнергии. Инновационным предложением является подача в третью зону экструдера диоксида углерода под давлением, что позволяет быстро снять тепловую нагрузку с обрабатываемого продукта, сохранить его качество и повысить пористость экструдата, выходящего из матрицы.

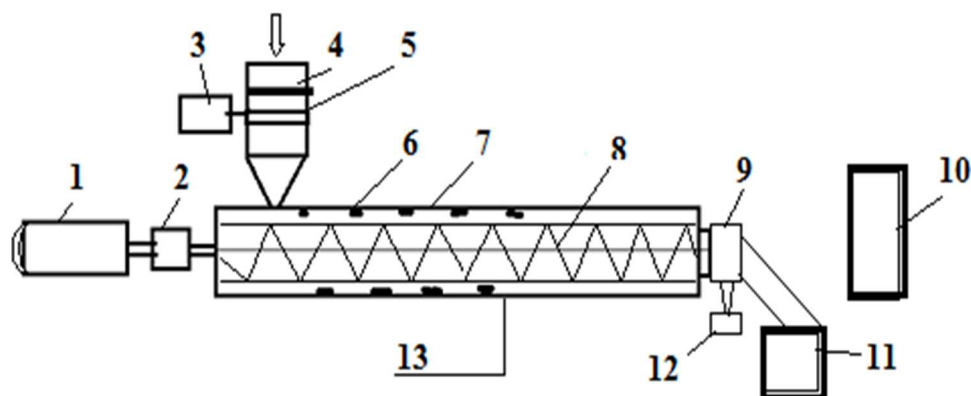


Рисунок 2 – Структурная схема модернизированного экструзионного модуля на перерабатывающем предприятии ООО «НПФ Плазма К»:
1 – электромотор; 2,3,12 – частотные преобразователи; 4 – загрузочный бункер; 5 – шнековый ворошитель; 6 – ИК-излучатели; 7 – корпус экструдера; 8 – червячный шнек; 9 – нарезатель с матрицей; 10 – пульт управления; 11 – сборник экструдата; 13 – вход CO₂

С учетом особенностей технологии и соотношения использования компонентов сырья была получена рецептура консервов, приведенная в таблице 7.

Таблица 7 – Рецептура модельных рецептов консервов «Голубцы мясорастительные»

Компоненты рецептуры	«Голубцы», рецептура 1 Норма закладки, %	«Голубцы», рецептура 2 Норма закладки, %
Фарш из баранины	20	–
Жиросырье	22	–
Фарш из говядины	–	26
Масло сливочное		4
СО ₂ -шрот семян тыквы	7	–
СО ₂ -шрот семян дыни		8
Кукурузная мука	10	–
Крупа рисовая	–	20
Лук репчатый	8	8
Премикс м/эл	2	2
Соль пищевая	2,4	2,4
СО ₂ -экстракт перца черного	0,004	–
СО ₂ -экстракт перца душистого	–	0,005
Бульон для гидратации	До 100 %	До 100 %

Результаты исследований микроэлементного состава представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Содержание микроэлементов в паштетах, мкг

Показатель	Консервы	
	Голубцы – Рецептура 1	Голубцы – Рецептура 2
Железо	3305 ±32,8	3446 ±45,2
Йод	1,7 ±0,18	2,3 ±0,32***
Кобальт	5,3 ±0,28	8,8 ±0,22***
Марганец	33,3 ±1,8	40,3 ±1,4**
Медь	173,3 ±4,4	184,1 ±1,4
Селен	12,8 ±1,6	18,0 ±1,2**

Примечание: * – p < 0,05; ** – p < 0,02; *** – p < 0,01.

Заключение

Степень разработанности темы исследования довольно высокая, о чем свидетельствует значительный поток научно-технической информации.

Разработаны этапы методологического подхода к созданию обогащенных продуктов питания. Авторы предложили оригинальный способ обогащения пищевых продуктов биодоступными формами йода, кобальта, марганца и селена, прошедшими биотрансформацию через организм животных, птиц, рыб и растений. Способ заключается в нанесении неорганических солей йода, кобальта, марганца и селена на инертный носитель типа пищевых волокон и включения комплекса в рацион комбикормов для опытной группы животных. Предложен также способ непосредственного использования органических форм микроэлементов в составе пищевых продуктов: йодированный белок, аскорбинат кобальта, хелатное соединение марганца с метионином и молочной кислотой, селенметионин и глицинат цинка.

Таким образом, для правильного функционирования всех жизненно важных органов человека, необходимо обогащать продукты питания сравнительно небольшим количеством микроэлементов и поддерживать суточную норму при их употреблении.

Литература:

1. Будилов И.С., Хворостова Т.Ю. Целесообразность включения в состав кормов солей эссенциальных микроэлементов / сборник лучших студенческих работ КубГТУ. – 2011. – Вып. 12. – Ч. 1. – С. 22–24.
2. Гиро Т.М. Прижизненное обогащение баранины эссенциальными микроэлементами с целью ее использования в технологии функциональных продуктов / Т.М. Гиро [и др.] // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – № 3. – С. 74–88.
3. Данович Л.М. Применение методов математического моделирования в разработке технологии и оценки потребительских свойств полуфабрикатов / Л.М. Данович [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2019. – 185 с.
4. Инновационные технологии, оборудование и добавки для переработки сырья животного происхождения / сборник материалов международной научно-практической конференции. – Краснодар : Экоинвест, 2018. – 270 с.
5. Касьянов Г.И. Особенности конструирования рецептур продуктов геродиетического питания // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 10. – С. 174–186.
6. Касьянов Г.И., Золотокопова С.В., Магомедов А.М. Особенности технологии фаршированного рыборастительного продукта, обогащенного CO₂-экстрактами // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2019. – Серия: Рыбное хозяйство. – № 2. – С. 86–93.
7. Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю., Шубина Л.Н. Особенности производства комбинированных мясорастительных паштетов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – № 1. – 2018. – С. 254–262.
8. Корнен Н.Н., Викторова Е.П., Евдокимова О.В. Методологические подходы к созданию продуктов здорового питания // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84. – № 1. – С. 95–99.
9. Магомедов А.М., Мишкевич Э.Ю., Рашидова Г.М. Целесообразность обогащения овощемясных колбасэссенциальными микроэлементами / сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции «Повышение качества и безопасности пищевых продуктов». – 2018. – С. 76–78.
10. Мишанин Ю.Ф., Касьянов Г.И., Мишанин А.Ю. Получение мяса животных с гарантированным содержанием эссенциальных микроэлементов // Научные труды КубГТУ. – 2015. – № 4. – С. 241–272.
11. Рашидова Г.М., Магомедов А.М., Тагирова П.Р. Технология мясорастительных продуктов с пищевыми добавками / сборник материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 250–256.
12. Технологические особенности производства и применения CO₂-экстрактов из растительного сырья / сборник материалов международной научно-практической конференции. – Краснодар : Экоинвест, 2019. – 234 с.
13. Эксклюзивные технологии производства мясных, молочных и рыбных продуктов / сборник материалов международной научно-практической конференции. – Краснодар : КубГТУ, 2019. – 204 с.

14. Aliasgharpour Mehri; Rahnamaye Farzami Marjan. Trace Elements in Human Nutrition // International journal of medical investigation, 2 (3). – P. 115–128.

15. Guoda Stanytė, Jolita Klementavičiūtė, Vilma Valaitienė. Content of essential mineral elements and meat quality traits of large white pigs and their crossbreeds meat // Lithuanian Health Sciences University, Veterinary Academy, Laboratory of Meat Characteristics and Quality Assessment, Tilzes 18, Kaunas, Lithuania, LII, 1/2015. – P. 34–38.

16. Mohdlqbal Yattoo. Role of trace elements in animals: a review Mohd Iqbal Yattoo, Archana Saxena, Padinjare Melepad Deepa, Biju Peer Habeab, Sarita Devi, Ranbir Singh Jatav and Umesh Dimri // Veterinary World, EISSN: 2231-0916 Available at www.veterinaryworld.org/Vol.6/Dec-2013/4.pdf. – P. 963–967.

References:

1. Budilov I.S., Hvorostova T.Yu. Reasonability of inclusion of essential microelements into the composition of forages of salts / collection of the best student works of Kuban State Technical University. – 2011. – Issue 12. – Part 1. – P. 22–24.

2. Giro T.M. Lifetime enrichment of mutton with the essential microelements in order to use it in the technology of the functional products // Theory and practice of the meat processing. – 2018. – № 3. – P. 74–88.

3. Danovich L.M. Application of the mathematical modeling methods in the technology development and the evaluation of the consumer properties of the semi-finished products // L.M. Danovich [et al.]. – Krasnodar : KubGTU, 2019. – 185 p.

4. Innovative technologies, equipment and additives for processing raw materials of animal origin / collection of materials of the international scientific-practical conference. – Krasnodar : Ecoinvest, 2018. – 270 p.

5. Kasyanov G.I. Features of the design of the recipes of the heroic nutrition products // Electronic network political journal «Scientific works of Kuban State Technical University». – 2016. – № 10. – P. 174–186.

6. Kasyanov G.I., Zolotokopova S.V., Magomedov A.M. Features of the technology of the stuffed fishery product enriched with CO₂ extracts // Vestnik of the Astrakhan State Technical University. – 2019. – Series: Fisheries. – № 2. – P. 86–93.

7. Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu., Shubina L.N. Features of the combined-vatka meat-pastets production // Science. Technics. Technologies (polytechnic bulletin). – № 1. – 2018. – P. 254–262.

8. Kornen N.N., Viktorova E.P., Evdokimova O.V. Methodological approaches to the creation of a healthy food product // Problems of nutrition. – 2015. – T. 84. – № 1. – P. 95–99.

9. Magomedov A.M., Mishkevich E.Yu., Rashidova G.M. Feasibility of enrichment of vegetable sausage with essential microelements / Proceedings of the VIII All-Russian scientific-practical conference «Improvement of quality and safety of food products». – 2018. – P. 76–78.

10. Mishanin Y.F., Kasyanov G.I., Mishanin A.Yu. Obtaining animal meat with guaranteed content of essential microelements // Research papers of Kuban State Technical University. – 2015. – № 4. – P. 241–272.

11. Rashidova G.M., Magomedov A.M., Tagirova P.R. Technology of meat products with food additives / collection of materials of the international scientific-practical conference «Innovative technologies and food safety». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 250–256.

12. Technological peculiarities of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials / collection of materials of the international scientific-practical conference. – Krasnodar : Ecoinvest, 2019. – 234 p.

13. Exclusive technologies of production of meat, dairy and fish products / collection of materials of the international scientific-practical conference. – Krasnodar : KubGTU, 2019. – 204 p.

14. Aliasgharpour Mehri, Rahnamaye Farzami Marjan. Trace Elements in Human Nutrition // International Journal of Medical Investigation, 2 (3). – P. 115–128.

15. Guoda Stanytė, Jolita Klementavičiūtė, Vilma Valaitienė. Content of essential mineral elements and meat quality traits of large white pigs and their crossbreeds meat // Lithuanian Health Sciences University, Veterinary Academy, Laboratory of Meat Characteristics and Quality Assessment, Tilzes 18, Kaunas, Lithuania, LII, 1/2015. – P. 34–38.

16. Mohdlqbal Yattoo. Role of trace elements in animals: a review Mohd Iqbal Yattoo, Archana Saxena, Padinjare Melepad Deepa, Biju Peer Habeab, Sarita Devi, Ranbir Singh Jatav and Umesh Dimri // Veterinary World, EISSN: 2231-0916 Available at www.veterinaryworld.org/Vol.6/Dec-2013/4.pdf – P. 963–967.

УДК 664.8: 661.971.9

ПУТЬ ОТ ИННОВАЦИОННОЙ ИДЕИ К ЗАПУСКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

THE WAY FROM AN INNOVATIVE IDEA TO THE LAUNCH OF PRODUCTION LINES

Медведев А.М.

Кубанский государственный
технологический университет
aleks-kubstu@yandex.ru

Иночкина Е.В.

Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Выполнен экскурс в историю обработки растительного и животного сырья сжиженными и сжатыми газами, от идеи до промышленной реализации разработанной технологии. Цель исследований заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья. Научная новизна работы заключалась в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газо-жидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором существующих альтернатив отобрать приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий. Практическая значимость работы опирается на реализацию теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Ключевые слова: инновационные идеи, газо-жидкостная экстракция, диоксид углерода, субкритическая экстракция, флюидное экстрагирование.

Medvedev A.M.

Kuban state technological university
aleks-kubstu@yandex.ru

Inochkina E.V.

Kuban state technological university

Annotation. An excursion into the history of processing plant and animal raw materials with liquefied and compressed gases, from the idea to the industrial implementation of the developed technology. The aim of the research is to develop methods and means of system analysis for the effective extraction of valuable components from plant raw materials by liquefied and compressed gases. The objects of the study were selected schemes of sub and supercritical CO₂ extraction of target components from agricultural raw materials developed with the participation of the authors. The scientific novelty of the work was the use of methods of metasystem analysis of mass-heat transfer processes in gas-liquid extraction plants, allowing hierarchical search of existing alternatives to select acceptable options for technical equipment of extraction enterprises. The practical significance of the work is based on the implementation of theoretical developments in the conditions of the existing extraction shop of LLC «company Caravan», the methodology for assessing the complexity of extraction processes and the effectiveness of integrated technical solutions.

Keywords: innovative ideas, gas-liquid extraction, carbon dioxide, subcritical extraction, fluid extraction.

Введение

Поиск стоящей технологической идеи занимает длительный период времени. Это не обязательно вспышка или озарение, а кропотливый аналитический анализ научно-технической и патентной литературы. Проиллюстрируем путь от инновационной идеи до внедрения разработок в производство, на примере достижений ученых и специалистов созданной при КубГТУ научно-педагогической школы «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами».

История создания школы имеет сорокалетний возраст. У истоков ее создания находился канд. техн. наук Александр Васильевич Пехов, успешно развивший идею Бориса Сергеевича Алаева об использовании сжиженных газов в качестве растворителей. У их последователей в Краснодарском политехническом институте появилась возможность придать фантазийной идеи практическое наполнение [1, 2].

Исследователи прошли долгий путь от теории к практической реализации ранее выдвинутой идеи. Предложен способ CO₂-пастеризации тропических плодов [3]. Раз-

работана технология производства продуктов геродиетического назначения [4]. Описаны технологические приемы обогащения паштетов и фаршей концентрированными фитопрепаратами [5, 6]. Сконструирована установка для газожидкостной экстракции растительного и животного сырья, внедренная в цехе экстракции ООО «Компания Караван» [7]. Оптимизацию процессов подготовки сырья к CO₂-экстракции и режимов сверхкритической экстракции осуществляли способами математического планирования эксперимента [8]. Проанализирован уровень оптимального управления экстракционным предприятием с позиций системного анализа [9–11].

Своеобразное подведение итогов работы научно-педагогической школы выполнено на международной научно-практической конференции в г. Краснодаре [12, 13].

Актуальность

Исследований определяется уникальными свойствами диоксида углерода как экстрагента, находящегося в различных фазовых состояниях. В отличие от ранее применяемых для извлечения ценных компонентов из сырья спиртов, кетонов и эфиров, сжиженный или сжатый до высоких давлений диоксид углерода обладает экологической чистотой и полностью удаляется из полученных с его помощью экстрактов.

Единый растворитель позволяет объединить производственные процессы в единую технологическую схему с использованием специализированного оборудования. Применение гибких технологических модулей дает возможность сравнительно легко переходить к различным по структуре видам растительного и животного сырья.

Цель

Заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами.

Для выполнения намеченной цели и снижения противоречий состояния теории и экстракционной практики, запланировано решение нескольких задач научного и практического характера:

- проанализировать современное состояние проблем газожидкостной экстракции;
- разработать архитектуру способов извлечения ценных компонентов из сырья методами метасистемного анализа;
- разработать схему подбора экстракционного оборудования;
- разработать структурную схему процесса сверхкритической экстракции;
- обосновать стратегию выбора суб или сверхкритического способа экстрагирования;
- оценить эффективность действующих экстракционных установок.

Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья.

В числе используемых методов исследования методы компьютерного моделирования и системного анализа, оптимального управления процессами экстрагирования.

Новизна работы заключалась в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газожидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором существующих альтернатив отобрать приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий.

К практической стороне работы относится реализация теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Результаты исследований

Проиллюстрируем путь от инновационной идеи экологически чистого процесса препаративного извлечения целевых компонентов из сырья к запуску опытно-промышленных технологических линий, на примере процесса CO₂-экстракции.

С целью выбора оптимальных решений предложен комплексный критерий эффективности технологий, по формуле:

$$K_{эф} = Y + \beta_1 \cdot Z + \beta_2 \cdot V, \quad (1)$$

где Y – удельный эффект; β – коэффициент весомости; Z – коэффициент сочетаемости; V – коэффициент внедрения.

Величина $K_{эф}$ характеризует эффективность выбранной технологии.

Техническое оснащение технологического процесса экстрагирования ценных компонентов из разнообразного сырья можно выразить уравнением Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial \omega}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} = f(t), \quad (2)$$

где ω – плотность вероятности превышения рыночной стоимостью X данного экстракта себестоимости его изготовления; a – коэффициент сноса; b – коэффициент диффузии; $f(t)$ – возмущающее воздействие.

Уравнение (2) можно преобразовать в следующий вид:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial \omega_1}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial X^2} = f(t) + u(X, t). \quad (3)$$

Если вместо $f(t)$ взять его выражение из (2), то получим, после преобразования, следующее уравнение:

$$\frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial(\omega - \omega_1)}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2(\omega - \omega_1)}{\partial X^2} = u(X, t). \quad (4)$$

Если принять упрощение $s = \omega - \omega_1$, то уравнение примет вид:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + a(X, t) \frac{\partial s}{\partial X} + \frac{b(X, t)}{2} \frac{\partial^2 s}{\partial X^2} = u(X, t). \quad (5)$$

Определим затраты управляющих воздействий на процесс экстракции, приняв что критерии оптимальности выражаются суммой потерь с коэффициентом q :

$$F = \int_0^{\tau} (qs^2 + u^2) dt \rightarrow \min. \quad (6)$$

В описанном случае задача оптимизации процесса CO_2 -экстрагирования веществ из сырья выражается критерием (6).

На рисунке 1 показаны особенности извлечения ценных компонентов из сырья способами системного анализа.

Показанные на рисунке 1 два вида экстракционных технологий существенно отличаются друг от друга. При извлечении компонентов из растительного сырья диоксидом углерода в субкритическом состоянии, можно получать CO_2 -экстракты с полным сохранением полезных свойств исходного сырья. Это происходит из-за того, что процесс извлечения БАВ из сырья осуществляется при плюсовой комнатной температуре (18–25 °С).

Сверхкритический режим получения экстрактов используют в том случае, когда нет необходимости сохранить в экстракте термолабильные вещества, разрушающиеся при температуре от 40 до 60 °С. Выход экстрактивных химических компонентов из сырья в этом случае в 1,5–2,0 раза выше, чем при субкритической экстракции.

Обозначенный путьот инновационной идеи к запуску технологических линий можно разбить на несколько этапов.

1. Зарождение идеи совпало с потребностью экстракционной отрасли промышленности подобрать экологически безопасный, легко удаляемый из продукта, экстрагент.
2. Необходимо подобрать линейку экстракционных установок разной мощности.
3. Оценить преимущества и недостатки суб и сверхкритической экстракции.

Извлечение ценных компонентов из сырья диоксидом углерода

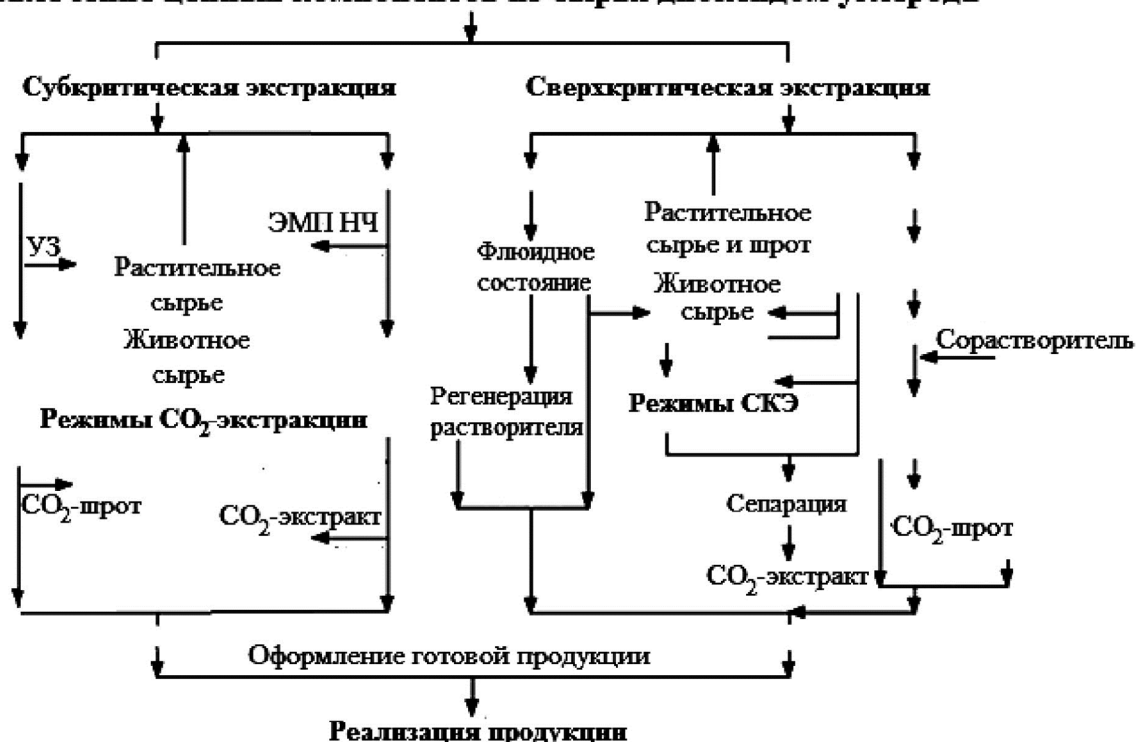


Рисунок 1 – Особенности извлечения ценных компонентов из сырья способами системного анализа

На рисунке 2 приведена схема разработки и подбора экстракционного оборудования.



Рисунок 2 – Схема разработки и подбора экстракционного оборудования

На рисунке 3 приведена структурная схема процесса сверхкритической экстракции.

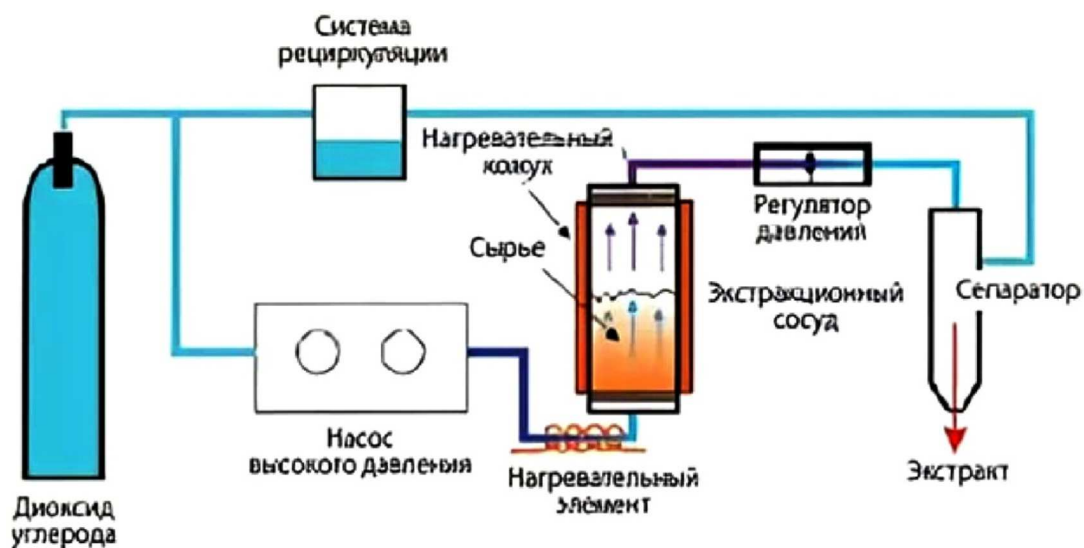


Рисунок 3 – Структурная схема процесса сверхкритической экстракции

На рисунке 4 показана аппаратная схема сверхкритической флюидной экстракции.

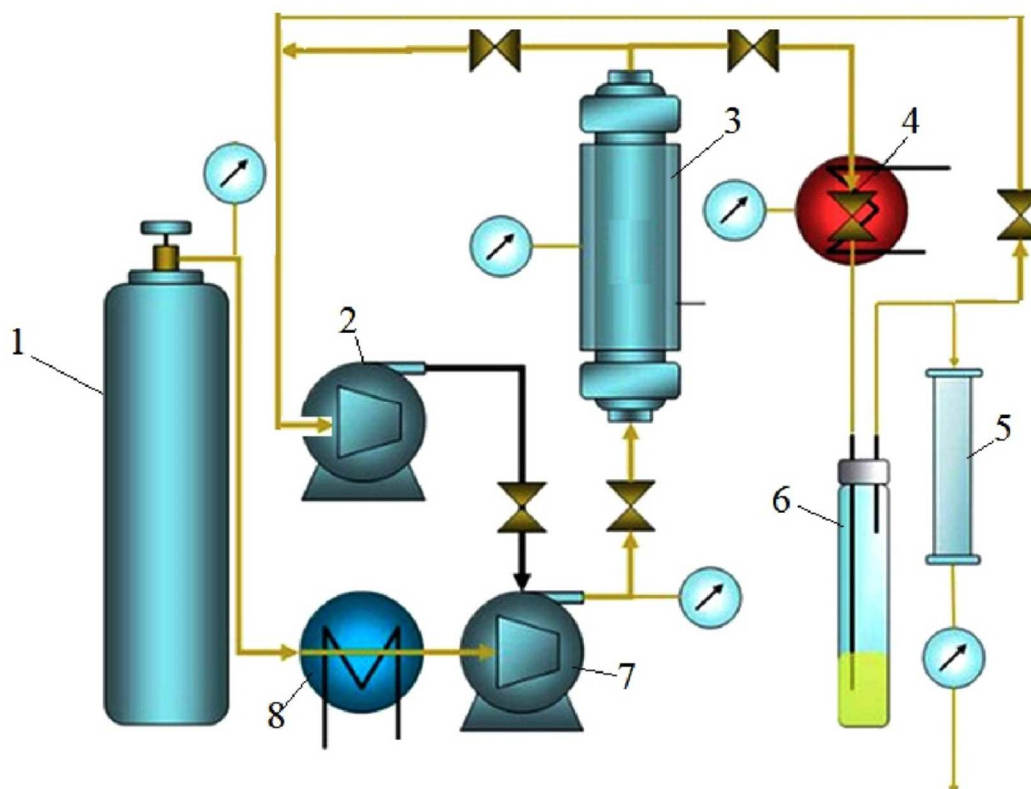


Рисунок 4 – Аппаратурная схема сверхкритической флюидной экстракции:
1 – баллон с жидким диоксидом углерода; 2, 7 – насосы высокого давления;
3 – экстрактор; 4, 8 – теплообменники; 5, 6 – сборники

На рисунке 5 приведен внешний вид установок для субкритической CO₂-экстракции. Особенность экстракторов, работающих под высоким давлением, заключается в наличии самоуплотняющихся затворных люков.



Рисунок 5 – Внешний вид установок для субкритической CO₂-экстракции

На рисунке 6 показан фрагмент цеха экстракции ООО «Компания Караван».

Роль личности руководителя предприятия во внедрении прогрессивных идей в производство наглядно демонстрирует президент ООО «Компания Караван» Латин Николай Николаевич.



Рисунок 6 – Фрагмент цеха экстракции ООО «Компания Караван»

В настоящее время экстракционный цех ООО «Компания Караван» является головной организацией Межрегионального научного центра «Экстракт Продукт» и практически единственным предприятием, выжившим в сложные перестроечные годы.

Заключение

В работе проанализированы исторические аспекты обработки растительного и животного сырья сжиженными и сжатыми газами, с позиций Краснодарской научно-педагогической школы по газожидкостной обработке сельскохозяйственного сырья. Суть выполненных авторами исследований заключается в разработке методов и средств системного анализа для эффективного извлечения ценных компонентов из растительного сырья сжиженными и сжатыми газами. Объектами исследования выбраны разработанные с участием авторов схемы суб и сверхкритического CO₂-экстрагирования целевых компонентов из сельскохозяйственного сырья.

Эффективность выполненных исследований заключается в использовании методов метасистемного анализа процессов массотеплопереноса в газожидкостных экстракционных установках, позволяющих иерархическим перебором отобрать из существующих альтернатив приемлемые варианты технического оснащения экстракционных предприятий. Практическая значимость работы основана на реализации теоретических разработок в условиях действующего экстракционного цеха ООО «Компания Караван», методика оценки сложности экстракционных процессов и эффективности интегрированных технических решений.

Литература:

1. Касьянов Г.И. Исследование технологии получения и применения CO₂-экстрактов пряностей для ароматизации рыбных продуктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар : Краснодарский политехнический институт, 1975. – 28 с.
2. Касьянов Г.И. Технология CO₂-обработки растительного сырья. Теория и практика : дис. ... докт. техн. наук в виде научного доклада. – М. : РАСХН, 1994. – 58 с.
3. Пат. № 2039474 РФ, МПК-А 23 L 2/02. Способ производства нектара «Комби» из тропических плодов / В.А. Ломачинский, Л.М. Горелова, О.И. Квасенков, Г.И. Касьянов, В.И. Рогачев; № 93005484/13; заявл. 02.02.1993. – Оpubл. 20.07.95. – Бюл. № 20. – 4 с.
4. Пат. № 2156587 РФ, МПК-А23 L 1/29, 1/314. Консервы для геродиетического питания / О.И. Квасенков, Е.А. Юшина, А.А. Запорожский, Г.И. Касьянов; № 99117352/13; заявл. 09.08.1999. – Оpubл. 27.09.2000. – Бюл. № 27. – 4 с.
5. Безуглова А.В., Касьянов Г.И, Палагина И.А. Технология производства паштетов и фаршей. – Ростов н/Д. : Издат. центр МарТ, 2004. – 304 с.
6. Касьянов Г.И. [и др.]. Использование фитопрепаратов в технологии мясopодуKтов профилактической направленности // Известия вузов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 41–43.
7. Пат. РФ на полезную модель № 93295. МПК В 01 D 11/02. Установка для газожидкостной экстракции растительного и животного сырья / Е.П. Франко, Г.И. Касьянов, В.С. Коробцын; заявка № 2010104160/22; Заявлено 08.02.2010. – Оpubл. 27.04.2010.
8. Свидетельство о гос. регистрации Программы для ЭВМ № 2018618148. Программа для построения регрессионной модели процесса комбинированной CO₂-сверхкритической и вакуумной СВЧ-сушки бахчевых культур / Е.В. Иночкина, С.В. УсатиKов, Г.И. Касьянов. – Оpubл. 10.07.2018.
9. Силинская С.М. Системный анализ современного производства CO₂-экстраKтов / сборник материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 216–220.
10. Иночкина Е.В., Силинская С.М. Повышение эффективности управления экстракционным предприятием с позиций системного анализа / сборник материалов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, оборудование и добавки для переработки сырья». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 41–44.
11. Силинская С.М. Разработка интенсивной технологии получения купажированных CO₂-экстраKтов из растительного сырья методами до- и сверхкритической экстракции : автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Краснодар : КубГТУ, 2006. – 24 с.
12. Касьянов Г.И. Итоги работы научно-педагогической школы «Теория и практика обработки сельскохозяйственного сырья сжиженными и сжатыми газами» / сборник материалов междунар. научно-практической конференции «Технологические особенности производства и применения CO₂-экстраKтов из растительного сырья». – Краснодар : КубГТУ, 2018. – С. 14–17.
13. Технологические особенности производства и применения CO₂-экстраKтов из растительного сырья / сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского государственного технологического университета. – Краснодар : Экоинвест, 2019. – 234 с.

References:

1. Kasyanov G.I. Research of technology of reception and application of CO₂-extracts of spices for aromatization of fish products : autoref. ... Cand. of Engineering Sciences. – Krasnodar : Krasnodar Polytechnic Institute, 1975. – 28 p.
2. Kasyanov G.I. Technology of CO₂-processing of the plant raw materials. Theory and practice : dis. ... Doctor of Engineering Sciences in the form of a scientific report. – M. : KHAN, 1994. – 58 p.

3. Pat. № 2039474 of the Russian Federation, MPK-A 23 L 2/02. Method of production of «Combi» nectar from tro-pic fruits / V.A. Lomachinskiy, L.M. Gorelova, O.I. Kvasenkov, G.I. Kasyanov, V.I. Roga-Chev; № 93005484/13; declared. 02.02.1993. – Obl. 20.07.95. – Bulletin № 20. – 4 p.
4. Pat. № 2156587 RF, MKP-A23 L 1/29, 1/314. Canned food for heroic nutrition / O.I. Kvasenkov, E.A. Yushina, A.A. Zaporozhsky, G.I. Kasyanov; № 99117352/13; declared. 09.08.1999. – Obl. 27.09.2000. – Bulletin № 27. – 4 p.
5. Bezuglova A.V., Kasyanov G.I., Palagina I.A. Production technology of pâtés and minced meat. – Rostov n/d. : Publishing center MarT, 2004. – 304 p.
6. Kasyanov, G.I. [et al.]. Use of phytopreparations in the technology of preventive meat products // Izvestiya vuznesheniya. Food technology. – 2009. – № 4. – P. 41–43.
7. Pat. Russian Federation for utility model № 93295. MPC B 01 D 11/02. Installation for gas-liquid-wall extraction of plant and animal raw materials / E.P. Franko, G.I. Kasyanov, V.S. Korobitsyn; application № 2010104160/22; Declared 08.02.2010. – Obl. 27.04.2010.
8. Certificate of state registration of Computer Programme № 2018618148. Program for the construction of the regression model of the process of the combined CO₂-super-critical and vacuum microwave drying of the melon crops / E.V. Inochkina, S.V. Usatkov, G.I. Kasyanov. – Obl. 10.07.2018.
9. Silinskaya S.M. System analysis of modern production of CO₂-extracts / collection of materials of the international scientific-practical conference «Innovative technologies and food safety». – Krasnodar : Kuban State Technical University, 2018. – P. 216–220.
10. Inochkina E.V., Silinskaya S.M. Increase of efficiency of management of the extraction-online enterprise from the position of the system analysis / collection of materials of the international scientific-practical conference «Innovative technologies, equipment and additives for raw materials processing». – Krasnodar : KubGTU, 2018. – P. 41–44.
11. Silinskaya S.M. Development of intensive technology for obtaining blended CO₂-extracts from plant raw materials by methods of pre- and supercritical extraction : autoref. ... Cand. of Technical Sciences. – Krasnodar : KubGTU, 2006. – 24 p.
12. Kasyanov G.I. Results of the work of the scientific-pedagogical school «Theory and practice of agricultural raw materials processing with liquefied and compressed gases» / collection of materials of the inter-international scientific-practical conference «Technological peculiarities of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials». – Krasnodar : Kuban State Technical University, 2018. – P. 14–17.
13. Technological peculiarities of production and application of CO₂-extracts from plant raw materials / collection of materials of the international scientific-practical conference, dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Technological University. – Krasnodar : Ecoinvest, 2019. – 234 p.

УДК 347.214.2

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА НЕДВИЖИМОСТИ

PROBLEMS OF IMPLEMENTING THE UNIFIED STATE REGISTER OF REAL ESTATE

Грибкова Ирина Сергеевна

старший преподаватель
кафедры кадастра и геоинженерии,
Кубанский государственный
технологический университет
i.s.gribkova@mail.ru

Коломыцев Арсений Александрович

Старший преподаватель
кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанский государственный
технологический университет
mills@inbox.ru

Хашпакянц Никита Олегович

Кубанский государственный
технологический университет
14-am-zk1@mail.ru

Аннотация. В настоящее время ключевой реформой в области земельно-имущественных отношений является создание Федеральной информационной системы – Единого государственного реестра недвижимости (ФИС ЕГРН), что существенно повлияло на учетно-регистрационные процедуры, осуществляемые на территории Российской Федерации. В данной статье приведены причины некорректного функционирования информационной базы ЕГРН. На основе приведенных причин сформулированы возможные негативные последствия влияния сложившихся условий осуществления учетно-регистрационных процедур с объектами недвижимости на экономические процессы хозяйствования.

Ключевые слова: кадастр недвижимости, государственная регистрация недвижимости, единый государственный реестр недвижимости.

Gribkova Irina Sergeevna

Senior teacher of department
of cadastre and geoengineering,
Kuban State Technological University
i.s.gribkova@mail.ru

Kolomytsev Arseniy Aleksandrovich

senior teacher of department
of cadastre and geoengineering,
Kuban State Technological University
mills@inbox.ru

Khashpakyants Nikita Olegovich

Kuban state technological university
14-am-zk1@mail.ru

Annotation. Currently, the main reform in the field of land and property relations is the creation of the Federal Information System – the Unified State Register of Real Estate, which has significantly affected the accounting and registration procedures carried out in the Russian Federation. This article describes the reasons for the incorrect functioning of the Unified State Register of Real Estate information base. Based on the reasons given, possible negative consequences of the influence of the prevailing conditions for the implementation of accounting and registration procedures with real estate on economic processes are formulated.

Keywords: real estate cadastre, state registration of real estate, a unified state register of real estate.

С 01.01.2017 вступил в силу Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости». Он заменил собой Федеральный закон от 21.07.1997 № 122-ФЗ «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним», в котором до 31.12.2019 осталась действующей только статья, предусматривающая основания выплаты за счет казны РФ компенсации за утрату права собственности на жилое помещение (Статья 31.1) [1].

ЕГРН – это свод достоверных систематизированных сведений об учтенном недвижимом имуществе, о зарегистрированных правах на такое недвижимое имущество, основаниях их возникновения, правообладателях, а также иных сведений. Главная особенность ЕГРН – это объединение в одном реестре кадастра недвижимости и реестра прав. Это означает, что кадастровый учет и регистрация прав производится на основании одновременно поданных заявлений [2].

Закон «О государственной регистрации недвижимости», согласно которому Государственный кадастр недвижимости и Единый государственный реестр прав на не-

движимое имущество и сделок с ним должны быть объединены в Единый государственный реестр недвижимости, был принят в середине 2015 года. На внедрение ЕГРН был отведен очень маленький срок, учитывая огромную территорию нашей страны и огромное количество объектов недвижимости в России. Для примера в Швеции внедрение единой учетно-регистрационной системы заняло больше 20 лет, а в Китае единый реестр создается с 90-х, но так и не запущен [3].

1 января 2017 года Росреестр не смог в полной мере выполнить запуск ЕГРН. Почти три года велись подготовительные работы над формированием единого государственного реестра недвижимости. Речь идет об объединении более 160 региональных баз данных, в которых содержится информация о более чем 300 млн. объектов недвижимости, каждый из которых имеет уникальные характеристики, такие как кадастровый номер, сведения о правах, площади, кадастровой оценке и других [4].

В настоящее время ЕГРН работает в полной мере. Но в процессе внедрения ЕГРН возникали проблемы, которые повлияли на его некорректное функционирование на первых порах.

Чтобы обосновать причины некорректного функционирования единого государственного реестра недвижимости приведем следующие факторы:

1. Несопоставимость данных Государственного кадастра недвижимости и единого государственного реестра недвижимости, на базе которых происходило создание ФИС ЕГРН, привели к невозможности объединения сведений при несовпадении данных или к потере части характеристик объекта недвижимости в полной мере в указанный срок.

2. Низкий уровень развития информационных ресурсов, не позволил обеспечить функционирование единого государственного реестра недвижимости.

3. Просчеты в объемах закупки носителей, усиленных квалифицированными электронными подписями, необходимых каждому специалисту органов, осуществляющих учет и регистрацию объектов недвижимости, для осуществления работы с новой информационной базой ЕГРН привели к невозможности ее функционирования по положениям закона № 218-ФЗ.

4. Непродолжительность процессов обучения сотрудников работе с базой ЕГРН и отсутствие получения практических навыков также привели к невозможности корректного функционирования ЕГРН [5].

Учитывая эти факторы, можно сделать вывод о том, что процедуры учета и государственной регистрации проводятся с использованием неполной информационной базы данных, что может привести к следующим негативным последствиям:

- некорректному налогообложению, поскольку основой для расчета налоговой базы являются данные ЕГРН;
- росту числа судебных разбирательств по поводу доказательств законных прав на объекты недвижимости и возможности их использования;
- неэффективности решений, принимаемых в области управления недвижимостью – в таких процессах, как землеустройство, строительство, планирование развития территорий;
- снижению инвестиционной привлекательности рынка недвижимости;
- росту недоверия граждан к деятельности органов власти [6].

Подводя итоги, следует отметить, что несмотря на проблемы со стартом реализации, Федеральный закон от 13 июля 2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости», вступивший в силу с 1 января 2017 г., внес значительные изменения в сферу постановки недвижимости на государственный кадастровый учет и регистрации прав на недвижимое имущество.

Благодаря нововведениям, которые внедряет данный закон учетно-регистрационная процедура должна стать проще, понятнее, яснее, а затраты и время заявителей будут максимально минимизированы. Однако, принимая во внимание все описанные проблемы, надеемся, что указанный закон станет лишь началом реформирования и эволюции в сфере государственного кадастрового учета и регистрации прав на недвижимое имущество.

Литература:

1. Осенняя А.В., Грибкова И.С. Теоретические основы кадастра застроенных территорий : учебное пособие – Краснодар : Изд. КубГТУ, 2012. – 223 с.
2. Спиренков В.А., Крылов Д.А., Грибкова И.С. Государственная регистрация прав и государственный кадастровый учет в отношении единого недвижимого комплекса // Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 4. – С. 290–296.
3. Осенняя А.В., Грибкова И.С., Пастухов М.А. Кадастр недвижимости : учебное пособие. – Краснодар, 2015. – 212 с.
4. Осенняя А.В., Кадошникова З.Н., Грибкова И.С. Кадастр застроенных территорий : учебное пособие по изучению дисциплины для студентов всех форм обучения специальности 120303 – Городской кадастр. – Краснодар : Изд. Издательский Дом – Юг, 2011. – 181 с.
5. Варламов А.А. Проблемы развития кадастровых систем в Российской Федерации. – URL : www.m.cyberleninka.ru
6. Чурсина А.В. Анализ проблем функционирования единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН): причины и влияние на экономические процессы. – URL : https://interactive-plus.ru/ru/article/119384/discussion_platform

References:

1. Osennyyaya A.V., Gribkova I.S. Theoretical foundations of the cadastre of built-up territories: a manual – Krasnodar : Ed. by Kuban State Technical University, 2012. – 223 p.
2. Spirenikov V.A., Krylov D.A., Gribkova I.S. The state registration of the rights and the state cadastral registration in relation to the uniform real estate complex // Scientific works of Kuban State Technical University. – 2017. – № 4. – P. 290–296.
3. Osennyyaya A.V., Gribkova I.S., Pastukhov M.A., Real Estate Cadastre : manual. – Krasnodar, 2015. – 212 p.
4. Osennyyaya A.V., Kadoshnikova Z.N., Gribkova I.S. Cadastre of built-up areas : textbook on the study of disciplines for students of all forms of education specialty 120303 – City cadastre. – Krasnodar : Publishing House – South, 2011. – 181 p.
5. Varlamov A.A. Problems of the cadastral systems development in the Russian Federation. – URL : www.m.cyberleninka.ru
6. Chursina A.V. Analysis of problems of functioning of the Unified State Register of Real Estate (USRN): causes and impact on economic processes. – URL : https://interactive-plus.ru/ru/article/119384/discussion_platform

**ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ**



**INNOVATIVE
TECHNOLOGIES
IN EDUCATION**

**ДИДАКТИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ РАЗВИТИЯ
РЕЧЕВОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ
(В АСПЕКТЕ ГУМАНИТАРИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ)**

**DIDACTIC COMPONENT OF SPEECH DEVELOPMENT
CULTURE OF STUDENTS
(IN THE ASPECT OF HUMANITARIZATIONS TECHNICAL EDUCATION)**

Дворная Зинаида Михайловна

кандидат филологических наук,
доцент,
Кубанский государственный
технологический университет
zinaida11-12@ya.ru

Дворная Зинаида Львовна

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Рассматриваются актуальные вопросы повышения речевой культуры студентов, включающие дидактический компонент, отражающие целесообразность гуманитаризации технического образования. Анализируются цели и задачи, стоящие перед будущими специалистами инженерного профиля, изучающими основы культуры речи и делового общения.

Ключевые слова: общекультурные компетенции, речевая культура, конкурентоспособность, гуманитаризация технического образования, профессиональные компетенции.

Dvornaya Zinaida Mikhailovna

Candidate of philological sciences,
Associate professor,
Kuban state technological University
zinaida11-12@ya.ru

Dvornaya Zinaida Lvovna

Student,
Kuban state technological university

Annotation. The article deals with topical issues of improving the speech culture of students, including the didactic component, reflecting the feasibility of humanitarization of technical education. The article analyzes the goals and objectives facing future specialists of engineering profile, studying the basics of speech culture and business communication.

Keywords: general cultural competences, speech culture, competitiveness, humanitarization of technical education, professional competences.

Повышение уровня речевой культуры является одной из важных задач, стоящих перед преподавателями-филологами, обучающими студентов в вузах технического, технологического, экономического профилей. Культура речи и речевое мастерство представляют собой один из главных компонентов повышения общего культурного уровня будущих инженеров, позиционирующих себя в качестве высокообразованных, успешных, амбициозных, перспективных молодых специалистов [1].

Именно возможность самореализации и успешного продвижения по служебной лестнице максимально нацеливают будущих выпускников негуманитарных вузов на раскрытие творческого потенциала в производственной сфере и, соответственно, на профессиональные достижения и на карьерный рост.

В последние десятилетия нынешнего столетия в Российской Федерации и в других индустриальных государствах остро стоит вопрос, имеющий отношение к повышению уровня профессиональной компетентности, соответственно, конкурентоспособности молодых специалистов-выпускников инженерных вузов.

Не вызывает сомнения, что понятие «профессионализм» включает в себя набор качеств, отражающих усвоение студентами в рамках программы бакалавриата или специалитета как собственно профессиональных, так и общекультурных компетенций.

Одной из главных задач, стоящих перед будущими инженерами на пути к формированию профессионализма, является усвоение профессиональных компетенций в процессе изучения теоретических основ целого комплекса общетехнических и узкопрофильных дисциплин.

С психолого-педагогической точки зрения, углубленное изучение студентами теории, соответственно, формирование собственной теоретической (методологиче-

ской) базы под руководством ведущих ученых вуза и опытных преподавателей-предметников является важным этапом на пути к развитию когнитивных функций, соответственно, на пути к творческой и профессиональной активности.

Акцент на когнитивное обучение студентов технических вузов способствует, с точки зрения современной дидактики, активизации абстрактно-логического мышления, следовательно, совершенствованию инженерного мышления.

Следующая, немаловажная задача по формированию профессиональных компетенций под руководством ведущих преподавателей – это обучение студентов использованию теоретической научной базы в практической сфере деятельности, включая производственную.

Овладение профессиональными компетенциями неотделимо от усвоения комплекса общекультурных компетенций, чему способствует изучение ряда гуманитарных дисциплин. Важное место среди них занимают лингвистические дисциплины, дидактический компонент которых отражает актуальность формирования коммуникативных способностей с целью их использования в производственной, научной, общественно-политической сферах деятельности.

С точки зрения педагогики и психологии высшей школы, дидактические принципы, заложенные в обучении основам правильной письменной и устной речи, деловому общению, направлены на повышение общего культурного уровня и в перспективе на успешную самореализацию молодых специалистов как в социуме, так и в сфере частной жизни.

Среди дисциплин, имеющих практическое применение (формирование основ культуры письменной и устной речи, навыков профессионального общения, правил речевого этикета), следует отметить обязательные: «Русский язык и культура речи», «Стилистика и литературное редактирование», «Современный русский язык», «Теория коммуникации».

При обучении основам культуры речи, речевому мастерству необходимо, на наш взгляд, особое внимание уделять изучению разделов и тем, имеющих дидактическую направленность. Наиболее актуальные с точки зрения дидактики разделы посвящены основным аспектам культуры речи, языковым нормам, основным качествам хорошей речи.

Помимо обязательных лингвистических дисциплин в учебную программу для студентов, обучающихся в рамках технологического, технического или экономического направления, включены лингвистические дисциплины по выбору. Среди них наиболее востребованными признаны следующие рекомендуемые лекционные курсы: «Язык делового общения», «От культуры речи к этике поведения», «Этика делового общения».

Перечисленные выше обязательные и рекомендуемые дисциплины выполняют ряд важных методологических и дидактических задач. Прежде всего, они направлены на активизацию речемыслительной деятельности студентов [2], играют немаловажную роль в духовно-нравственном воспитании будущих специалистов. В аспекте гуманитаризации технического образования формирование речевой культуры студентов направлено на развитие коммуникативных способностей, навыков делового общения, способствует усвоению норм этики, включая знание и применение правил речевого этикета [3].

Итак, с точки зрения общедидактических задач, не вызывает сомнения важность обучения студентов технических вузов лингвистическим дисциплинам, основной задачей которых является формирование, развитие основных профессиональных, общекультурных, лингвистических компетенций.

Таким образом, дидактический компонент развития речевой культуры студентов заключается в усвоении ими основ культуры речи, в использовании стилистически правильной речи, в знании языковых норм и вариантов, правил коммуникации и психологии общения, этических норм, включая правила делового этикета с целью их успешного применения в профессиональной деятельности.

Перечисленные выше психолого-педагогические задачи, стоящие перед преподавателями лингвистических дисциплин, направлены на всестороннее гармоничное развитие будущих специалистов инженерного профиля. Итогом реализации постав-

ленных задач является повышение уровня профессиональной, общекультурной, языковой компетентности студентов и, соответственно, востребованности, успешности, конкурентоспособности выпускников технических вузов.

Литература:

1. Дворная З.М. Актуальность формирования речевой культуры у студентов технических вузов : Инновационные процессы в высшей школе / материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. – Кубанский государственный технологический университет, 2010. С. 139–140.

2. Дворная З.М. Речемышлительная деятельность как один из аспектов духовно-нравственного развития личности // сборники конференций научно-исследовательского центра Социосфера. – 2015. – № 16. – С. 102–104.

3. Дворная З.М. К вопросу о роли спецкурса «От культуры речи к этике поведения» в процессе гуманитаризации технического образования : Инновационные процессы в высшей школе / материалы VII Международной научно-практической конференции. – Кубанский государственный технологический университет, 2001. – С. 236–237.

References:

1. Dvornaya Z.M. The relevance of formation of speech culture of students of technical universities : Innovative processes in higher education / materials of XVI all-Russian scientific-practical conference. – Kuban state technological University, 2010. – P. 139–140.

2. Dvornaya Z.M. Speech-thinking activity, as a component of spiritually-moral development of personality // the Collections of conferences proceedings of the research center Sociosphere. – 2015. – № 16. – P. 102–104.

3. Dvornaya Z.M. On the role of the special course «From the culture of speech to the ethics of behavior» in the process of humanitarization of technical education : Innovative processes in higher education / materials of VII International scientific-practical conference. – Kuban state technological University, 2001. – P. 236–237.

УДК 378.147:378.018.43

УРОВНИ РЕАЛИЗАЦИИ SCRUM-МЕТОДОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ

IMPLEMENTATION LEVELS OF SCRUM TRAINING METHODOLOGY

Арустамян Раиса Юрьевнаассистент, кафедра русского языка,
Кубанский государственный
технологический университет**Arustamyan Raise Yurievna**Assistant,
Kuban state technological university

Аннотация. Известно, что Scrum-методология обучения – чрезвычайно эффективная модель обучения, появившаяся в результате экстраполяции и обобщения scrum-методологии управления инновационными проектами (проектной деятельностью в различных сферах); Scrum-методологии относят к гибким моделям обучения и управления. Автор выделила и обосновала уровни реализации Scrum-методологии обучения, отразила взаимосвязь данной методологии с передовыми технологиями педагогического мониторинга (мониторинга учебной деятельности обучающихся).

Annotation. It is known that Scrum-methodology of training is an extremely effective model of training, which appeared as a result of extrapolation and generalization of Scrum-methodology of management of innovative projects (project activities in various fields); Scrum-methodology is referred to flexible models of training and management. The author identified and justified the levels of implementation of Scrum-methodology of training, reflected the relationship of this methodology with advanced technologies of pedagogical monitoring (monitoring of educational activity of students).

Ключевые слова: Scrum-методология, обучение, уровни, диагностика, педагогический мониторинг.

Keywords: Scrum-methodology, training, levels, diagnostics, pedagogical monitoring.

Введение

В настоящее время всё большую популярность приобретают гибкие методологии обучения, особенно Scrum-методология [2–5]. Известно, что Scrum-методология обучения – чрезвычайно эффективная модель обучения, появившаяся в результате экстраполяции и обобщения Scrum-методологии управления инновационными проектами, т.е. проектной деятельностью в различных сферах [6]. Гибкие методологии предполагают разделение обучения на короткие циклы (спринты), перманентный мониторинг учебной деятельности обучающегося (педагогический мониторинг, синхронный обучению), индивидуализацию траектории обучения, в зависимости от успешности учебной деятельности конкретного обучающегося, точнее, успешности выполнения спринта [2–5].

Современными специалистами обосновано, что гибкие методологии обучения обладают огромным дидактическим потенциалом, т.к. позволяют решить практически все социально-педагогические проблемы и подчинённые им задачи [2–6]. Это индивидуализация и дифференциация обучения, ведение портфолио обучающегося, успешное применение как традиционных, так и компетентностно ориентированных методов, приёмов и технологий обучения, успешное применение современных технологий, методов и средств педагогического контроля (рейтинговой технологии педагогического контроля, традиционных и контрольно-компетентностных оценочных заданий), информатизация обучения, профилактика и преодоление ряда рисков образовательной среды и т.д. Особо следует отметить такое важно направление, как предотвращение и преодоление рисков образовательной среды. Благодаря гибким методологиям обучения возможно преодолеть (предотвратить) такие риски, как риск стать неконкурентоспособным выпускником, риск потери интереса к обучению, риск нерационально использовать время и организовать учебную деятельность, риск эмоционального напряжения, стрессов, хронической усталости и перегрузок, риск неадекватной оценки знаний [1–3].

Возникает вопрос: верно ли называть гибкие модели обучения методологиями? С точки зрения автора настоящей статьи, верно, т.к. они объединяют различные технологии, методы и средства, т.е. налицо существенные признаки методологии.

Таким образом, в настоящее время разработаны модели управления учебной деятельностью обучающихся, в основе которого – гибкая методология обучения (т.е. Scrum-методология), однако по-прежнему не выделены уровни реализации гибких методологий обучения

Цель исследования

Разработка интегративного метода диагностики реализации Scrum-методологии обучения.

Результаты исследования

С точки зрения автора, возможные уровни реализации Scrum-методологии обучения следующие: низший, низкий, средний, выше среднего, высокий, очень высокий и высший.

Низший уровень характеризуется жёстким планированием процесса обучения, слабой индивидуализацией и дифференциацией обучения, т.е. явно доминирует фронтальный подход в обучении, индивидуальный подход в обучении наблюдается слабо. Разделение обучения на спринты отсутствует. Выдача педагогических заданий не происходит с учётом особенностей обучающегося, уровня его подготовленности. Доля «индивидуальных» заданий для обучающихся составляет не более 10–15 %. Педагогический мониторинг не отличается перманентностью, не осуществляется непрерывный контроль выполняемости обучающимися заданий.

Низкий уровень реализации гибких методологий обучения характеризуется тем, что период обучения подразделяют на короткие циклы, однако индивидуализация обучения не носит устойчивый характер (также сами спринты не всегда выделяются верно). При выдаче индивидуальных заданий не всегда происходит объективный учёт уровня подготовленности обучающегося (особенно его банка знаний); имеет место выдача заданий, не соответствующих текущему уровню обучающегося. Иначе говоря, уровень педагогического мониторинга ещё недостаточен для полноценной реализации Scrum-методологии. Тем не менее, на данном уровне наблюдаются попытки индивидуализации обучения.

Средний уровень характеризуется тем, что разделение обучения на спринты и индивидуализация (дифференциация) носят устойчивый характер. Педагогические задания (средства педагогического контроля) широко варьируются как по уровню трудности, так и по семантике (смысловому содержанию, охватываемым порциям знаний). Педагогический мониторинг становится перманентным, т.е. синхронным управлению учебной деятельностью обучающегося. Педагогический контроль становится точечным (точно диагностируются уровень знаний, умений и подготовленности у каждого обучающегося) и объективным. От реализации гибких методологий обучения наблюдается выраженный дидактический эффект. Иначе говоря, именно на данном уровне уже наблюдаются признаки гибкой методологии обучения. Однако на данном уровне гибкие методологии не становятся значимым фактором реализации компетентностно ориентированных методов и технологий обучения; при педагогическом контроле явно доминируют задания традиционного типа (информационно-аналитические), а не контрольно-компетентностные оценочные задания.

Для уровня «выше среднего» характерно то, что реализация гибкой методологии обучения позволяет реализовать не знаниевую, а компетентностную парадигму (компетентностный подход). Иначе говоря, высокий дидактический эффект от Scrum-методологии заключается не просто в успешном становлении знаний и умений обучающихся, а компетенций и личностно-профессиональных качеств, интегрирующих знания, умения, мотивы и личный опыт соответствующей деятельности. В ходе перманентного педагогического мониторинга (в частности, контроля) объективно оценивается выполнение не только информационно-аналитических, но и контрольно-компетентностных оценочных заданий, требующих для успешного выполнения как соответствующих знаний и умений, так и способности к их эффективному управлению; соответственно, объективно диагностируются не просто знания и умения обучающегося, но и

компетенции и личностно-профессиональные качества. Иначе говоря, на данном уровне гибкая методология обучения открывает новые возможности для реализации компетентностно ориентированных технологий, методов и приёмов обучения (например, Фишбоун, мозговой штурм и т.д.).

Высокий уровень характеризуется тем, что гибкая методология обучения становится ведущим фактором реализации компетентностного подхода. В процессе перманентного педагогического мониторинга наблюдается устойчивая связь между диагностикой и прогнозированием успешности учебной деятельности для каждого обучающегося, а также точечным (т.е. для каждого обучающегося) принятием педагогических решений. Наблюдается связь между реализацией Scrum-методологии и информатизацией обучения; применение гибкой методологии неразрывно связано с применением объективного рейтингового контроля всех видов учебной деятельности обучающегося (в том числе исследовательской), а также ведением портфолио, как способа фиксации результатов учебной деятельности [5].

Очень высокий уровень характеризуется тем, что применение гибкой методологии обучения становится фактором профилактики ряда рисков образовательной среды (такие риски были указаны выше). На данном уровне, благодаря гибкой методологии, становятся массовыми учебно-исследовательская и научно-практическая деятельность студентов.

Высший уровень отличается от предыдущего тем, что опыт реализации гибкой методологии становится паттернальным, т.е. его анализируют, перенимают и распространяют.

Следует отметить, что успешная реализация Scrum-методологии обучения требует соблюдения ряда условий. Это, прежде всего, ориентация образовательного процесса на результат, а не на содержание (естественное требование компетентностного подхода!), должный уровень всех составляющих профессиональной компетентности педагога (дидактической, методической и научно-теоретической), должный уровень мотивации обучающихся, развитая материально-техническая база обучения (в том числе наличие широкого ассортимента средств информатизации образования, т.е. компьютерных систем учебного назначения).

Заключение

Выделенные уровни реализации Scrum-методологии обучения основаны на модельных представлениях о ней. Перспективы исследования – создание информационно-вероятностных моделей успешности учебной деятельности студентов при условии реализации гибких методологий обучения.

Литература:

1. Заярная И.А. Роль риск-менеджмента в конкурентоспособности вуза // Дискуссия. – 2018. – № 3 (88). – С. 47–53.
2. Черных А.И. Мониторинг качества и эффективности непрерывного профессионального образования / А.И. Черных [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2016. – 312 с.
3. Шапошникова Т.Л. Scrum-методология как основа перманентной профессиональной переподготовки педагогов / Т.Л. Шапошникова [и др.] // Среднее профессиональное образование. – 2018. – № 8. – С. 3–9.
4. Backlund J., Hugo M. (2018) «The paradox of the flipped classroom: one methods, many intentions», Problems of Education in the 21st century, Vol. 76, № 4, pp. 451–464.
5. Cheng S.C., Chang S.L. (2019) «An innovative assessment method to establish employability map based on students learning portfolio», Problems of Education in the 21st century, Vol. 77, № 1, pp. 209–227.
6. Sutherland J. Scrum: the Art of Doing Twice the Work in Half the Time. – New York : Crown Business, 2017. – 275 p.

References:

1. Zayarnaya I.A. Role of risk management in the university competitiveness // Discussion. – 2018. – № 3 (88). – С. 47–53.
2. Chernykh A.I. Monitoring of the quality and efficiency of the continuous professional education / A.I. Chernykh [et al.]. – Krasnodar : KubGTU, 2016. – 312 p.

3. Shaposhnikova T.L. Scrum-methodology as a basis for the permanent professional retraining of the teachers // Secondary professional education. – 2018. – № 8. – P. 3–9.
4. Backlund J., Hugo M. (2018) «The paradox of the flipped classroom: one methods, many intentions», Problems of Education in the 21st century, Vol. 76, № 4, pp. 451–464.
5. Cheng S.C., Chang S.L. (2019) «An innovative assessment method to establish employability map based on students learning portfolio», Problems of Education in the 21st century, Vol. 77, № 1, pp. 209–227.
6. Sutherland J. Scrum: the Art of Doing Twice the Work in Half the Time. - New York : Crown Business, 2017. – 275 p.

УДК 378.147:378.018.43

УРОВНИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЙТИНГОВОГО КОНТРОЛЯ В ОБУЧЕНИИ

LEVELS OF IMPLEMENTATION OF RATING CONTROL IN TRAINING

Арустамян Раиса Юрьевнаассистент, кафедра русского языка,
Кубанский государственный
технологический университет**Arustamyan Raise Yurievna**Assistant,
Kuban state technological university

Аннотация. Известно, что рейтинг – индивидуальный кумулятивный индекс учебной деятельности обучающегося; рейтинговая модель педагогического контроля адекватна современным моделям педагогического мониторинга, а также многим тенденциям развития образования. Автор выделила и обосновала уровни реализации рейтинговой методики педагогического контроля, отразили взаимосвязь данной методики с передовыми методами и технологиями обучения (в том числе компетентностно ориентированными методами и технологиями).

Annotation. It is known that the rating is an individual cumulative index of educational activity of the student; the rating model of pedagogical control is adequate to modern models of pedagogical monitoring, as well as many trends in the development of education. The author identified and justified the levels of implementation of the rating methodology of pedagogical control, reflected the relationship of this methodology with advanced methods and technologies of training (including competence-oriented methods and technologies).

Ключевые слова: обучение, уровни, диагностика, рейтинговый контроль, мониторинг.

Keywords: training, levels, diagnostics, rating control, monitoring.

Введение

В настоящее время очевидно, что педагогический мониторинг – эффективный информационный механизм управления всевозможными видами учебной деятельности обучающихся [1–5]. Согласно современным воззрениям, мониторинг включает в себя контроль, диагностику, планирование, прогнозирование и принятие решений; доминирующая роль принадлежит, безусловно, педагогическому контролю, т.к. именно он придаёт смысл остальным составляющим мониторинга. Для современных специалистов также очевидно, что педагогический контроль должен быть перманентным, т.е. синхронным обучению.

Известны следующие виды педагогического контроля: пропедевтический, входной, оперативный, текущий, рубежный, итоговый и отсроченный. В педагогическом управлении контроль выполняет следующие функции: диагностическую, прогностическую, развивающую, мотивирующую, организующую, обучающую и контролирующую [2]. Различают методы контроля следующих видов деятельности: перцептивной, репродуктивной, вариативной, проблемно-ориентировочной и поисковой.

Наиболее адекватной современным технологиям, как педагогическим, так и информационным, является рейтинговая система педагогического контроля [1–5]. С точки зрения метрологии, рейтинг – шкала достижений учебной деятельности студентов. Главным назначением рейтинговой системы контроля является обеспечение интегрирования оценки учебной деятельности. Суммирование оценочных показателей призвано избавить педагогов и менеджеров образования от ошибок, ведущих к субъективизму оценки. По сути, рейтинговую систему можно отразить совокупность видов и форм контроля, объединенных интегральной моделью расчета показателей; в любом случае, немаловажную роль играют всевозможные виды получения информации об учебной деятельности студентов (опрос, анализ портфолио, тестирование).

Адекватность рейтинговой системы контроля современным педагогическим технологиям (в том числе предполагающим применение компетентностно ориентированных методов и приёмов) состоит в том, что при интегрировании оценки возможно учесть всю информацию обо всех видах учебной деятельности обучающихся. Рейтинговая система позволяет избавить оценивание учебной деятельности обучающихся от субъективизма, мотивировать их к систематической работе, учитывать все их учебные

достижения. Например, если обучающийся выполнил контрольно-компетентностное оценочное задание, то результаты его выполнения также можно оценить баллами рейтинга. Очевидно, что адекватность современным информационным (компьютерным) технологиям состоит в том, что возможно автоматизировать сбор первичной информации для вычисления интегративного показателя (индивидуального кумулятивного индекса), тем более, формализовать (следовательно, и автоматизировать) интегрирование оценки. Иначе говоря, адекватность информационным технологиям заключается в возможности формализации любой методики расчёта рейтинга, применения компьютерных программ, позволяющих вести контроль и учёт учебной работы обучающихся. Немаловажную роль играют, прежде всего, технологии баз данных (позволяют осуществлять сбор больших объёмов первичной однородной информации об учебной деятельности обучающихся и её факторов), всевозможные методы обработки информации, а также мультимедиа технологии (для визуализации информации). Чёткое отслеживание результатов деятельности обучающегося и учёт его работы в течение анализируемого периода времени позволяет более объективно вывести итоговую оценку, уменьшить роль случайностей при оценивании результатов учебной деятельности.

В последнее время стало очевидным, что при организации и контроле самостоятельной работы студентов при начислении баллов рейтинга следует учитывать не только вес задания и степень его выполнения обучающимся, но и степень самостоятельности его выполнения; аналогично обстоит ситуация с сопровождением различных видов исследовательской деятельности студента [1–5]. Иначе говоря, рейтинговая технология контроля позволяет учитывать не только все компоненты, но и все аспекты учебной деятельности обучающегося.

Таким образом, в настоящее время разработаны технологии рейтингового контроля всех видов учебной деятельности обучающихся, выявлена его взаимосвязь с иными составляющими педагогического мониторинга, однако по-прежнему не выделены и не охарактеризованы интегративные уровни его реализации.

Цель исследования

Разработка интегративного метода диагностики рейтингового педагогического контроля.

Результаты исследования

С точки зрения автора, возможные уровни реализации рейтингового контроля в обучении следующие: низший, низкий, средний, выше среднего, высокий, очень высокий и высший.

Низший уровень характеризуется организационным примитивизмом рейтингового контроля. В процессе рейтингового контроля учитываются только результаты запланированных видов (этапов) учебной деятельности студентов (контрольные или самостоятельные работы, коллоквиумы и т.д.). По сути, рейтинговый контроль сводится к простому суммированию оценок по традиционной пятибалльной шкале. Несмотря на объективность (в целом) процесса интегрирования оценки, случайностей и субъективизма не намного меньше, чем при традиционной технологии контроля.

Низкий уровень рейтингового контроля характеризуется большей объективностью оценивания учебной деятельности обучающихся, а также более высокой системностью получения первичной информации для оценивания учебной деятельности обучающихся; контроль становится перманентным, т.е. синхронным обучению. Более высокая объективность оценивания достигается, прежде всего, благодаря более широкому применению методов объективных измерений, например, педагогического тестирования. Однако по-прежнему рейтинговый контроль характеризуется организационным примитивизмом, а именно – односторонним (а не полиаспектным) учётом первичной информации об учебной деятельности обучающихся, а также тем, что благодаря его применению возможно оценить, преимущественно, знания и умения обучающегося, а не целостные компетенции, отражающие способность к эффективному управлению сложившимися знаниями и умениями.

Средний уровень характеризуется систематичностью получения объективной первичной информации об учебной деятельности обучающихся. Рейтинговый контроль становится тотальным, т.е. ему подвержены все виды и этапы учебной деятельности обучающихся. Например, рейтинговой оценке подвергается не только аудиторная работа студентов, но также внеаудиторная самостоятельная работа, исследовательская деятельность и т.д. На данном уровне рейтинговый контроль возможно полностью формализовать, а сбор первичной информации – автоматизировать. На данном уровне наблюдается отход от примитивных методов интегрирования оценки. Например, методы интегративного оценивания учебной деятельности таковы, что невозможно перекрыть отстающие составляющие учебной деятельности обучающегося «передовыми» (или, например, «нелюбимые» дидактические единицы «любимыми»).

Для уровня «выше среднего» характерно то, что рейтинговый контроль становится ведущим фактором успешности педагогического управления, т.к. методы интегрирования оценки адекватны дидактическим целям и задачам, и это обеспечивает реализацию всех функций педагогического контроля. На данном уровне рейтинговый контроль становится полиаспектным, т.е. позволяет учитывать все аспекты учебной деятельности обучающихся и её результатов (до этого уровня контроль был лишь поликомпонентным, т.е. позволял учитывать все компоненты учебной деятельности, но не все её аспекты). Например, при рейтинговой оценке самостоятельной работы учитывается не только сложность задания и его выполненность обучающимся, но и степень самостоятельности выполнения. Или, например, при рейтинговой оценке исследовательской деятельности обучающихся учитывают, помимо традиционных показателей, также креативность, самостоятельность, степень применения информационных технологий при выполнении и т.д. В качестве средств педагогического контроля применяют самые разнообразные виды педагогических заданий (и комплексы заданий); весовые коэффициенты педагогических заданий также оцениваются объективно, а не умозрительно. Например, при оценке максимального балла рейтинга за выполнение информационно-аналитического задания учитывают его трудность, а трудность – исходя из соотношения доля испытуемых, справившихся и не справившихся с заданием. Или, например, при оценке балла рейтинга за выполнение контрольно-компетентностного оценочного задания его сопоставляют с прототипами (заданиями, близкими по смыслу и трудности), для которых балл рейтинга уже известен. Благодаря рейтинговому контролю возможно индивидуализировать и дифференцировать обучение, применять его гибкие методологии (в том числе Scrum-методологию).

Высокий уровень характеризуется тем, что рейтинговый контроль становится механизмом реализации компетентностного подхода, а не знаниевой парадигмы. На данном уровне объём и ассортимент информации, полученной в результате контроля, таков, что возможно анализировать причинно-следственные связи между содержанием и формами обучения, с одной стороны, и его результатами, с другой стороны. На данном уровне рейтинговая система позволяет диагностировать не знания и умения, а компетенции и личностно-профессиональные качества обучающегося, а также факторы их становления. На данном уровне наблюдается неразграниченность фактической информации для контроля, в частности, и мониторинга, в целом; рейтинговый контроль включён в общую направленность педагогического мониторинга. На данном уровне наблюдается неразрывная связь рейтингового контроля с анализом портфолио обучающегося. Обеспечением рейтингового контроля является широкий ассортимент информационных технологий, а не только базы данных. На данному уровне рейтинговый контроль становится прозрачным для обучающегося, т.е. обучающийся может сам оценить результаты своей деятельности.

Очень высокий уровень характеризуется тем, что процедура контроля полностью оптимизирована. Прежде всего, оптимизировано соотношение применения различных методов и средств контроля. Необходимость оптимизации обусловлена, прежде всего, ограниченностью бюджета времени. Например, отсутствуют неоправданные перекосы в применении заданий традиционного типа (информационно-аналитических). Инфометрия окончательно и бесповоротно становится научной основой рейтингового контроля (особенно это проявляется при анализе портфолио).

Высший уровень отличается от предыдущего тем, что опыт реализации рейтинговой технологии становится паттернальным, т.е. его анализируют, перенимают и распространяют.

Рассматривая рейтинговую технологию педагогического контроля, необходимо учитывать такой важный аспект трансдисциплинарного образовательного процесса (системы профессиональной подготовки), как межпредметные связи [2, 5]. Известно, что межпредметные связи включают не только смысловые связи между элементами учебных курсов (учебных дисциплин); межпредметные связи также предполагают единство технологий (методов, приёмов) обучения и контроля. Для автора настоящей статьи очевидно, что при преподавании различных учебных дисциплин должна использоваться, как минимум, единая линейная шкала рейтингового контроля (например, столбчатая), как максимум, единые индикаторы и нормы для оценки учебной деятельности обучающегося.

Заключение

Выделенные уровни реализации рейтингового контроля в обучении основаны на модельных представлениях как педагогического мониторинга, в целом, так и педагогического контроля, в частности. Перспективы исследования – обоснование критериев эффективности педагогического мониторинга, как информационного механизма управления учебной деятельностью обучающихся.

Литература:

1. Булгаков Ю.В. Оценка результатов учебной деятельности студента и структура рейтинга / Ю.В. Булгаков, А.П. Комаров, В.В. Шестернина // Общество: социология, психология, педагогика. – 2018. – № 6. – С. 49–55.
2. Черных А.И. Мониторинг качества и эффективности непрерывного профессионального образования / А.И. Черных [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2016. – 312 с.
3. Cheng S.C., Chang S.L. (2019) «An innovative assessment method to establish employability map based on students learning portfolio», *Problems of Education in the 21st century*, Vol. 77, № 1, pp. 209–227.
4. Iskrenovic-Momcilovic O. (2018) «Using Computers in Teaching in Higher Education», *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol. 9, № 4, pp. 71–78.
5. Mezhenaya N.M., Pugachev O.V. (2019) «On perception of computer algebra systems and Microsoft Excel by engineering students», *Problems of Education in the 21st century*, Vol. 77, № 3, pp. 379–395.

References:

1. Bulgakov Yu.V. Evaluation of the student's educational activity results and the structure of the rating / Bulgakov Yu.V., Komarov A.P., Komarov V.V. Shesternina // *Society: Sociology, Psychology, Pedagogy*. – 2018. – № 6. – P. 49–55.
2. Chernykh A.I. Monitoring of the quality and efficiency of the continuous professional education / A.I. Chernykh [et al.]. – Krasnodar : KubGTU, 2016. – 312 p.
3. Cheng S.C., Chang S.L. (2019) "An innovative assessment method to establish employability map based on students learning portfolio", *Problems of Education in the 21st century*, Vol. 77, № 1, pp. 209–227.
4. Iskrenovic-Momcilovic O. (2018) «Using Computers in Teaching in Higher Education», *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol. 9, № 4, pp. 71–78.
5. Mezhenaya N.M., Pugachev O.V. (2019) «On perception of computer algebra systems and Microsoft Excel by engineering students», *Problems of Education in the 21st century*, Vol. 77, № 3, pp. 379–395.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ПРЕПОДАВАНИИ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМ ГУМАНИТАРНОГО ПРОФИЛЯ

THE USE OF OPTIMIZATION METHODS IN TEACHING MATHEMATICS TO STUDENTS IN THE HUMANITIES

Варфоломеева Светлана Васильевна

кандидат педагогических наук, доцент,
профессор кафедры математики (и информатики),
Краснодарское высшее военное
авиационное училище лётчиков

Головнина Наталья Васильевна

преподаватель кафедры математики (и информатики),
Краснодарское высшее военное
авиационное училище лётчиков

Терехов Владимир Валерьевич

кандидат технических наук, доцент
заведующий кафедрой механики,
Краснодарское высшее военное
авиационное училище лётчиков

Аннотация. В статье дан анализ концептуальных основ методологии обучения математике студентов гуманитарных специальностей; возможность применения в социально-гуманитарной сфере теоретических основ и методов математики. Рассматриваются вопросы математической подготовки студентов гуманитарных специальностей вузов, совершенствование методической системы обучения математическим дисциплинам на основе модели обучения с использованием оптимизационных методов. Спроектирована система тестирования оптимизационных методов управления для гуманитариев.

Ключевые слова: математическая подготовка гуманитариев, методы оптимизации, математический язык, общекультурные компетенции.

Varfolomeeva Svetlana Vasilevna

Ph.D. in Pedagogical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Mathematics (and Computer Science),
Krasnodar Air Force Institute for Pilots

Golovnina Natalia Vasilevna

Teacher of Departments of Mathematics
(and Computer Science),
Krasnodar Air Force Institute for Pilots

Terekhov Vladimir Valerievich

Ph.D. in Technical Sciences,
Associate Professor
Head of the Department of Engineering,
Krasnodar Air Force Institute for Pilots

Annotation. The article analyzes the conceptual foundations of the methodology of teaching mathematics to students of humanitarian specialties; the possibility of applying the theoretical foundations and methods of mathematics in the social and humanitarian sphere. The questions of mathematical training of students of humanitarian specialties of universities, the improvement of the methodological system of teaching mathematical disciplines based on the learning model using optimization methods are considered. A system for testing optimization management methods for humanities has been designed.

Keywords: mathematical training of humanities, optimization methods, mathematical language, general cultural competencies.

Технологический прогресс и глобальная общественная модернизация неминуемо оказывает влияние на образование, требует от него расширения сферы использования и соответствующего ответа на актуальные задачи современности.

Высокий уровень образования является необходимой частью успешного развития общества. Результатом образовательного процесса можно рассматривать формирование образованности, возможности применения знаний, умений и навыков, которыми овладел обучающийся. Образованность это не только результат длительного процесса обучения, это еще и результат воспитания и самостоятельной деятельности.

Процесс подготовки специалистов любого профиля зависит от принятой образовательной программы государства, от структуры высшего образования, от степени развития самой науки и от развития научных областей знаний в целом. Однако если ситуация с гуманитарным и социально-экономическим образованием студентов математических и естественнонаучных специальностей в рамках принятия нового образовательного стандарта являлась благополучной, то этого нельзя было сказать о математическом и естественнонаучном образовании гуманитариев. Это объясняется тем, что относительно дисциплин естественнонаучных уже имелась определенная культура

их преподавания, существовало некоторое учебно-методическое обеспечение, и сами эти дисциплины занимали в учебных планах подготовки специалистов традиционно весомое место. Совершенно иная ситуация сложилась относительно дисциплин естественнонаучного блока. В обучении математике как предмета при подготовке специалистов гуманитарного профиля отсутствовала как концепция преподавания естественнонаучных дисциплин, так и опыт преподавания. Учебно-методическое обеспечение процесса обучения было неполным.

Потребность в математической подготовке гуманитариев обусловлена тем, что математические структуры решения задач любого характера являются уникальным средством решения практических задач. Таким образом, при подготовке в вузах специалистов гуманитарных специальностей необходимо рассматривать математическую подготовку, не только как часть профессиональной подготовки, но и как общекультурную подготовку будущих специалистов. Вообще, образованность предполагает знакомство не только с тем, что непосредственно используется в профессиональной деятельности, но и с человеческой культурой как таковой, чьей неотъемлемой частью является математика [1].

Одна из задач математического образования заключается в развитии общекультурных знаний как способностей к интеллектуальному прогрессу, пониманию картины мира и анализу явлений общественно-политической жизни. Вместе с тем, математическое образование предполагает не только расширение знаний, но и осознание практической значимости математических знаний для решения задач из различных областей практики, применение фундаментальных основ математики для решения задач прикладного характера, умение находить, отбирать и использовать информацию, способность формулировать проблему и решать ее. Математические методы плодотворно применяются в создании моделей профессиональной человеческой деятельности.

Стремительное развитие технологий привело к очевидному прогрессу в сфере компьютерной техники и программного обеспечения. Повседневными и привычными стали в том числе и визуальные спецэффекты, которые на сегодняшний момент доступны практически любому пользователю компьютера благодаря широкому распространению соответствующих программ графики и, в частности, трехмерного моделирования.

Под моделированием понимают не только процесс создания модели как концепции представления некоторого явления, но и разностороннюю разработку, исследование и управление любимы социальными процессами.

Специфика социального математического моделирования состоит в том, что исследуется не сам процесс, являющийся оригиналом, а его компьютерная модель, являющаяся аналогом. Доступность в настоящее время 3D моделирования, наличие различных комплексов и прикладных программ дает возможность для разработки модели и замены ею объекта-оригинала, а также возможность исследователям получить необходимые результаты. В частности, при работе социальных систем, подготовки и принятия решений, построения систем искусственного интеллекта. В гуманитарных науках проблема заключается не в работе с существующими моделями, а само создание новых моделей с применением самых разнообразных математических структур. В такой ситуации оптимизационные методы нужны не только как метод расчета, но и как средство формулирования и организации понятий.

На гуманитарных отделениях в высшем учебном заведении преподавание математики ведётся в рамках строго алгоритмического подхода, который основан на традиционных способах подачи материала. Но для студентов гуманитарных наук лучше подходит творческий, интуитивный способ восприятия и анализа информации. Использование традиционных методов преподавания математики приводит многих студентов к ложному выводу, что в практической деятельности в области своей специальности математика не является необходимой. Для нас очевидны реалии о существовании противоречий между подсознательным отторжением гуманитариев от сложившейся формы обучения математике и существующей системой подготовки специалистов гуманитарного профиля. Их психологические особенности не учитываются в процессе обучения. Изучение математических дисциплин гуманитариями по сложившейся мето-

дической системе не является продуктивным. Из перечисленных противоречий можно вывести актуальность проблемы исследования: совершенствование методической системы обучения математическим дисциплинам студентов гуманитарных специальностей на базе модели обучения с использованием оптимизационных методов [2].

Теория оптимизации в настоящее время становится масштабной областью прикладной математики. В данной области стоит выделить одно из наиболее перспективных направлений прикладных исследований, называемое системным методом исследования. Этот метод и образует фундамент поиска стратегических верных решений при анализе и прогнозе человеческой деятельности. Совокупность любых объектов или явлений и их взаимодействие между собой образуют систему. Любой процесс, объект, преобразование или явление можно рассматривать как систему взаимодействующих элементов.

Для выполнения задач по оптимизации применимы всевозможные математические методы. Выбор оптимального метода и решения в действительности зачастую представляет невероятно трудоёмкую задачу. Продуктивность и точность того или иного метода зависит от верно поставленной задачи, нахождения единственно верного метода при наличии сложных расчётов и вычислений.

Линейное «планирование» – наиболее подробно изученный раздел математического программирования. Именно с данного раздела развивается сама дисциплина «математическое программирование». Решение многих весьма распространенных практических задач в различных сферах деятельности человека использует методы и типичные алгоритмы линейного программирования.

Характер этих задач может быть различный: экономические, военные-прикладные, производственные задачи, психологические анализы, спортивные методики, медицинские исследования, строительные работы, межличностные отношения, административные решения, и т.д. Оказывается, что эти разные по своей природе процессы описываются одними и теми же математическими моделями. Кроме этого, при изучении этих моделей можно лучше понять глубину того или иного явления и получить возможность определить его дальнейшее развитие. В информационном смысле мир устроен необычайно компактно, поскольку одна и та же математическая схема реализуется в различных областях человеческой деятельности. Однотипность моделей позволяет избежать ситуации, при которой для каждой отдельной задачи необходимо находить индивидуальный, присущий только этой задаче, метод решения. Понимание общих закономерностей, которые присутствуют в различных сферах деятельности, даёт возможность исследовать их математическими методами, а иногда и развивать эти сферы деятельности. Линейное программирование является таким математическим фундаментом, который способен обеспечить принятие решений в различных областях общественной деятельности. Математическое программирование содержит в себе совокупность методов и средств, позволяющих принимать решения при наличии нечёткой количественной информации. Эти научные методы, сформированные и получившие развитие в математике, в дальнейшем обрели новое применение в разных сферах деятельности человека, и уже сформировавшись в своей среде продолжают использоваться повсеместно.

Нельзя не сказать, что математическое моделирование, применяемое как в естественных, так и в гуманитарных науках, оказывает взаимное влияние на эти науки. Как и математика оказывает помощь при получении новых результатов в области гуманитарного знания, так и построение прикладных моделей в гуманитарных областях формулирует новые задачи математикам. Благодаря моделированию и изучению различных явлений и процессов, изучаемых гуманитарными науками, развиваются важные направления прикладной математики: линейное программирование, теория игр, теория нечетких множеств.

Можно выделить три глобальных периода внедрения математики в процесс формирования науки и практики. Вначале этот период можно представить как период первичного накопления эмпирического материала и количественной его обработки. Далее следует период построения простейших моделей и формализации, а завершающий этап – это анализ моделей и построения теории.

Первый период можно характеризовать применением различных методов обработки результатов наблюдений и экспериментов. В гуманитарных науках наблюдается сложность проведения измерений и выражается она следующими факторами: многомерностью, различным проявлением диагностируемых качеств в зависимости от ситуации, нечеткостью измеряемой величины. Сюда можно отнести зависимость от большого количества параметров, сложности этих параметров и неполной информации об объектах измерений.

Второй этап математизации включает в себя процесс построения различных частных моделей, изучаемых в исследуемой предметной области. Модель является универсальным средством описания интеллектуальных и других сложных, трудноуловимых процессов в человеческом мышлении, развитии и решении самого разного рода задач. Интенсивное развитие информационных технологий, возрастающий поток информации и повсеместное использование передовых математических методов вынуждает гуманитариев обращаться к проектированию и разработке сложных математических моделей.

Главный вопрос для преподавателей математики в гуманитарной сфере заключается в повышении эффективности математической дисциплины, как непосредственно развивающей науки для студентов.

В ФГОС говорится, что потенциальные специалисты гуманитарного профиля должны владеть математическими методами в объеме, необходимом для практического использования. Можно определить следующие основные математические пласты для понимания и составления математических моделей. Необходимо владеть основными понятиями математической статистики, методами математического моделирования в зависимости от потребностей в профессиональной деятельности. Уметь применять в гуманитарной сфере теоретические основы и практические знания методов математики, математической логики, теории вероятностей, элементов теории множеств и математической статистики. Грамотно и рационально использовать основы математического анализа, знать фундаментальные основы высшей алгебры. Становится очевидным, что важная проблема методики обучения математики студентов гуманитарных наук состоит в определении содержания дисциплины, разработке системы подачи основополагающих знаний для формирования у студентов основ линейного программирования, исследования операций, которые формируют и развивают способности для составления математических моделей, различных процессов и явлений с применением математических методов.

Учебный предмет «Математика» предоставляет возможность для формирования общекультурных компетенций, характерных для большинства гуманитарных специальностей [3].

Математика позволяет значительно быстрее развивать свой общекультурный уровень, понимать и системно представлять общесоциальные проблемы, улучшать личностные интеллектуальные качества и самосовершенствоваться во всех направлениях жизнедеятельности. Необходимо осознавать весь развивающий потенциал математики, который не используется в надлежащем объеме при обучении в образовательных учреждениях.

Задачи математического курса можно подразделить на несколько основных разделов. Важно дать представление о математике, как о неотъемлемой части смыслов и ценностей, создаваемых человечеством в процессе общественно-исторической практики.

Математический язык весьма упрощает процесс исследования, позволяет выражать зависимость каких-либо постоянных и переменных величин, зачастую имеющих нечеткий размер и нечеткую структуру с помощью различных уравнений, функций и других математических понятий. На основе этого можно сделать вывод, что в любом процессе научного познания существует тесная взаимосвязь между языком качественных описаний и количественным языком математики. Составление уравнений, функций и других понятий служит для математического описания разнообразных процессов, изучаемых в конкретных науках. Поэтому математический язык играет основную роль в ходе математизации этих наук.

Любой формализованный язык характеризуется двумя особенностями: наличием определенной исходной совокупности символов, языковых средств, называемых алфавитом, которые можно воспроизводить в неограниченном количестве. В алфавит включаются логические, нелогические, технические символы. Затем задаются правила, указывающие, как из символов можно образовывать их различные комбинации, называемые выражениями или словами. Также составляются различные типы правильно построенных выражений.

Построение формализованного языка заключается в том, чтобы точно указать, какие выражения в нем считаются правильно построенными. Здесь мы видим явную аналогию с обычным языком, в котором отличают осмысленные фразы от бессмысленных. Однако, поскольку в формализованном языке отвлекаются от содержания или смысла, постольку в нем с самого начала следует указать критерии, позволяющие определить правильно построенные выражения.

Важнейшим шагом в создании формализованного языка является точное описание правил, согласно которым из одних формул или выражений языка получаются другие. Такие правила часто называют правилами преобразования одних формул в другие. В обычном языке им соответствуют логические правила умозаключений или выводов. В содержательных рассуждениях эти правила сами собой понимаются, но в формализованном языке они должны быть точно указаны. Такие правила представляют собой правила образования.

Завершающий шаг в построении формализованного языка, заключается в выборе исходных формул языка, которым соответствуют аксиомы обычного языка. Из этих формул с помощью правил преобразования могут быть получены другие формулы, соответствующие теоремам содержательного математического языка.

Специфика курса математики для гуманитариев заключается в том, что его изучают студенты либо слабо подготовленные по данному предмету, либо по складу мышления проблемно воспринимающие четкие формулы и математические расчеты. Их нельзя заинтересовать строгой красотой логических построений. Для стимулирования их познавательной деятельности, активизации внимания, следует увязывать излагаемый материал с их специальностью. Для гуманитариев примеры должны быть преимущественно нематематического содержания.

При разработке лекций содержащих большое количество математического текста, особое внимание необходимо уделить вопросу доступности излагаемого материала.

При изложении лекционного материала, учитывая особенности познавательной деятельности студентов гуманитарных факультетов, необходимо использовать различные виды наглядности. Виды наглядности являются важнейшими элементами системы обучения. Ведь наглядность способствует созданию образа объекта или явления, которое создается студентом в результате процессов, восприятия, воображения, мышления, памяти и умению оперировать приобретенным познанием. Наглядность помогает активизировать обобщающую, аналитическую, мыслительную деятельность.

При работе со студентами гуманитарных специальностей преподаватели опираются на ряд положений, на основе которых строится эффективная методика обучения математике. В интеллектуальном развитии студента гуманитарных наук, нужно делать акцент на непосредственное развитие личностного потенциала перед другими задачами математического образования. На протяжении всего обучения таких студентов необходимо рассматривать математику прежде всего как средство для развития соответствующих интеллектуальных умений в различных областях с применением математических знаний, для умения находить, отбирать, использовать за счет самостоятельного поиска необходимую информацию. Заложенные в процессе обучения математические навыки должны использоваться в профессиональной деятельности, теоретическом и экспериментальном исследовании.

Содержание математического образования должно строиться на внедрении развивающей и прикладной направленности математического обучения. Обучение математики, в том числе обучение прикладным математическим предметам из побочного по отношению к студенту процесса обучения должно превратиться в собственно познавательный процесс.

Таким образом, целью математического образования гуманитариев является развитие общекультурных компетенций как способностей к интеллектуальному развитию, пониманию картины мира и анализу мировоззренческих проблем, применению фундаментальных идей математики к решению профессиональных и жизненных задач. Содержание образования должно базироваться на идее интеграции мировоззренческой, развивающей и профессиональной направленности обучения математике.

В результате исследования была разработана система математической подготовки студентов гуманитарных специальностей вузов, спроектирована система тестирования оптимизационных методов управления для гуманитариев, разработано электронное пособие по оптимизационным методам управления для гуманитариев, которое содержит в себе краткие лекции, рассчитанные на помощь преподавателю, и тесты по каждой рассмотренной теме.

Литература:

1. Успенский В.А. Математическое и гуманитарное: преодоление барьера. – М. : МЦНМО, 2011. – 48 с.
2. Жолков С.Ю. Математика и информатика для гуманитариев : учебник для вузов. – М. : Альфа-М; ИНФРА-М, 2005. – 528 с.
3. Варфоломеева С.В., Третьякова Н.В. Формирование у студентов профессиональных компетенций при изучении курсов «Математика» и «Информатика» / Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского: сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского»; КВВАУЛ им. Героя Советского Союза А.К. Серова. – Краснодар, 2019. – С. 248–253.
4. Грес П.В. Математика для гуманитариев : учебное пособие. – М. : Логос, 2009. – 288 с.
5. Варфоломеева С.В. Линейное программирование : метод. указ.к контр. раб. / С.В. Варфоломеева, О.С. Безнос, Л.А. Лысенко. – Краснодар : РГТЭУ, 2004. – 83 с.

References:

1. Uspensky V.A. Mathematical and humanitarian: overcoming the barrier. – M. : MTSNMO, 2011. – 48 p.
2. Zholkov S.Yu. Mathematics and informatics for humanities : textbook for universities. – M. : Alpha-M; INFRA-M, 2005. – 528 p.
3. Barfolomeeva S.V., Tretyakov N.V. Formation of professional competencies of students in the study of courses «Mathematics» and «Informatics» / Scientific readings named after Professor N.E. Zhukovsky: a collection of scientific articles IX International Scientific Conference «Scientific Readings named after Professor N.E. Zhukovsky»; KVVAUL named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov. – Krasnodar, 2019. – P. 248–253.
4. Gres P.V. Mathematics for Humanities : textbook. – M. : Logos, 2009. – 288 p.
5. Barfolomeeva S.V. Linear programming: methodical decree to the counter slave / S.V. Barfolomeeva, O.S. Beznos, L.A. Lysenko. – Krasnodar : RGTEU, 2004. – 83 p.

Порядок публикации статьи

- Статья, предоставляемая для публикации в журнале, должна быть ранее неопубликованной, актуальной, обладать новизной, **тщательно вычитана**.
- Статья должна соответствовать **Правилам оформления**.
- Содержание статьи должно соответствовать тематикам рубрик журнала.
- В стоимость публикации входит один печатный экземпляр журнала, публикация в сетевой версии журнала (на сайте <http://id-yug.com>), почтовая доставка, сопровождение в системе РИНЦ.

Редакционный совет в течение 3–5 дней рассматривает предоставленную статью. В случае положительного решения о публикации редакция направляет Вам договор (оферта), счет (квитанцию) на оплату.

В случае необходимости редакция может затребовать предоставление заключения внутрифирменных служб экспортного контроля по материалам статьи.

Предоставляемая статья должна содержать следующие компоненты:

- Код УДК;
- Сведения об авторах (*рус./англ.*):
 - а) фамилия, имя, отчество (полностью);
 - б) ученая степень;
 - в) ученое звание;
 - г) должность, место работы (без сокращений);
 - д) контактный телефон;
 - е) контактный E-mail автора.
- Название статьи (*рус./англ.*);
- Аннотация (*рус./англ.*);
- Ключевые слова (*рус./англ.*);
- Основной текст статьи на русском языке (рекомендуется не менее 3-х страниц);
- Список литературы (*рус./англ.*).

Текст статьи должен быть набран в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 14, межстрочный интервал – 1, абзацный отступ 1,25 см., все поля – 2,5 см, страницы не нумеровать, для выделений использовать *курсив*, **жирный шрифт**, **а также их сочетание**.

Таблицы набираются в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 12. Таблицы нумеруются и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на таблицы.

Иллюстрации (рисунки, графики, диаграммы, фотографии) должны быть встроены в текст в виде картинок, в оттенках серого, разрешением 300 dpi. Иллюстрации нумеруются (нумерация сквозная арабскими цифрами) и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на иллюстрации.

Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Все формулы должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами. Номера формул оформляются в круглых скобках.

Сноски оформляются постранично.

Ссылки на литературу оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 и ГОСТ 7.82-2001. Ссылки оформляются в порядке упоминания или цитирования в тексте в квадратных скобках арабскими цифрами.

Более подробную информацию можно получить на сайте www.id-yug.com

График выхода журнала и приема статей на 2019 г.

№ журнала	Прием статей до:	Выход журнала:
1	31 марта	14 апреля
2	30 июня	14 июля
3	29 сентября	13 октября
4	22 декабря	29 декабря

НАУЧНЫЙ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ
(политехнический вестник)

2019, № 3

SCIENTIFIC MULTIDISCIPLINARY MAGAZINE
SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY
(polytechnical bulletin)

2019, № 3

www.id-yug.com

Редактор – А.С. Семенов

Editor – A.S. Semenov

Оригинал-макет – М.Б. Жаренко

Dummy – M.B. Zharenko

Дизайн обложки – М.Б. Жаренко

Design of a cover – M.B. Zharenro

Сдано в набор 14.10.2019.
Подписано в печать 18.10.2019.
Формат 60 x 84¹/₈.
Бумага офсетная.
Печать riso.
Уч.-изд. л. 17,1.
Тираж 500 экз.

It is handed over in a set 14.10.2019.
It is sent for the press 18.10.2019.
Format 60 x 84¹/₈.
Offset paper.
Riso press.
Ed.-prod. l. 17,1.
Circulation is 500 pieces.

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»
Россия, 350072, г. Краснодар,
ул. Зиповская 9, литер «Г», оф. 41/3

It is printed in JSC «Izdatelsky Dom – Yug»
Russia, 350072, Krasnodar,
Zipovskaya St., 9, letters «G», office 41/3

Заказ № 2086

Order No. 2086

Тел.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com
Сайт: www.id-yug.com

Ph.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id.yug2016@gmail.com
Site: www.id-yug.com