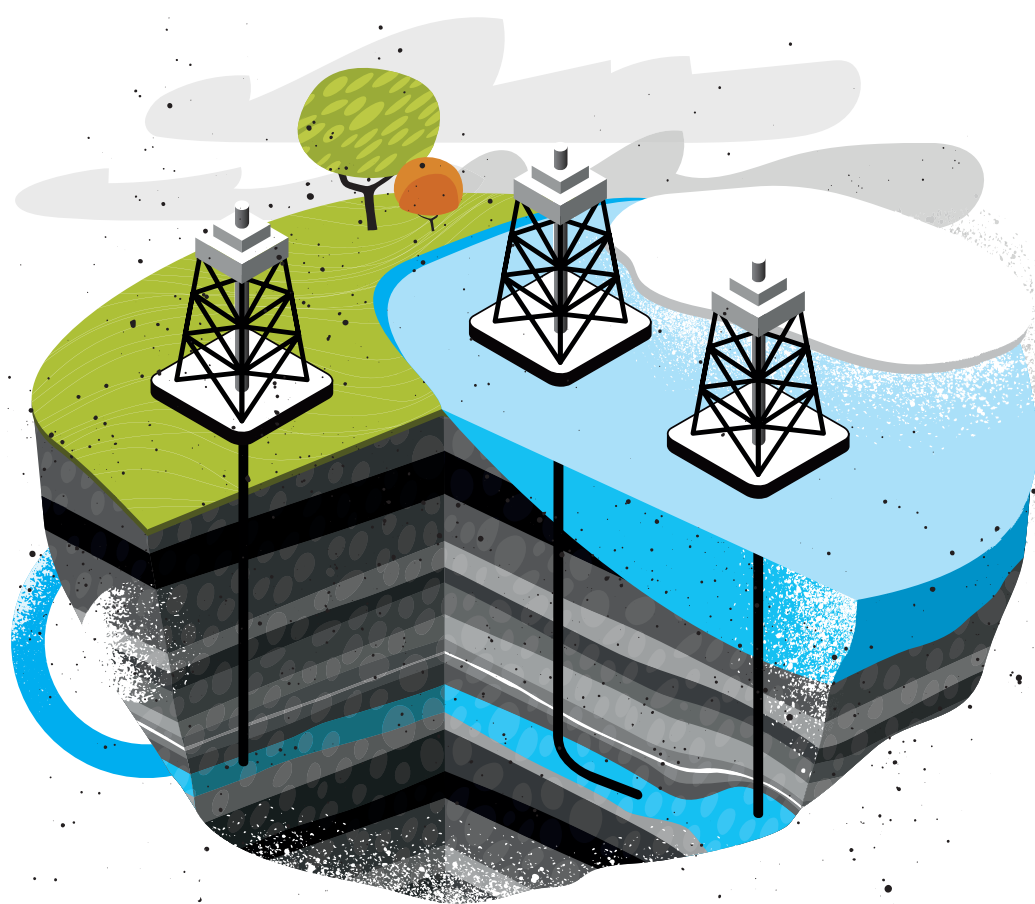


ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 10

839 | 2022

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ, ИЗДАЕТСЯ С 1956 г.,
ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ВАК



24 ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
ПРОГРАММ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ
ОТРАСЛИ

62 ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ
ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ В ПРОЦЕССЕ
ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО
ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ЗАКОЛОННОГО ПРОСТРАНСТВА
НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

90 ЭКСПРЕСС-МЕТОД АНАЛИЗА
РИСКОВ И ОЦЕНКИ
ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИЙ ОБСАДНЫХ
КОЛОНН В ИНТЕРВАЛАХ
МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД



Уважаемые читатели!

Природный газ – это не только источник доступной и чистой энергии, потребность в котором сегодня высока и будет возрастать в долгосрочной перспективе. Природный газ – это источник преобразований, способный улучшить качество жизни людей и придать импульс социально-экономическому развитию территорий, на которые приходит. Именно вопросы газоснабжения и газификации регионов всегда в фокусе внимания ПАО «Газпром».

Опыт и постоянное развитие позволяют компании успешно решать стратегические задачи на всей территории РФ. Сегодня активно создается газотранспортная система на востоке нашей страны. В частности, «Газпром» расширил возможности для газификации юго-восточной части Сахалина: недавно там состоялся пуск газа на газораспределительную станцию «Корсаков». На текущий момент на территории Дальневосточного федерального округа реализуются программы развития газоснабжения и газификации Амурской и Сахалинской областей, Республики Саха (Якутия), Хабаровского и Приморского краев.

Помимо проектирования и строительства газопроводов, компания также участвует в процессах, направленных на совершенствование правовой системы, регулирующей данную сферу. «Газпром» принимает активное участие в этой работе и готовит предложения по актуализации законодательства для сокращения сроков и стоимости строительства газовой инфраструктуры, упрощения процедуры оформления объектов газификации. Вопросам газификации и газоснабжения посвящен ряд материалов октябрьского номера научно-технического журнала «Газовая промышленность».

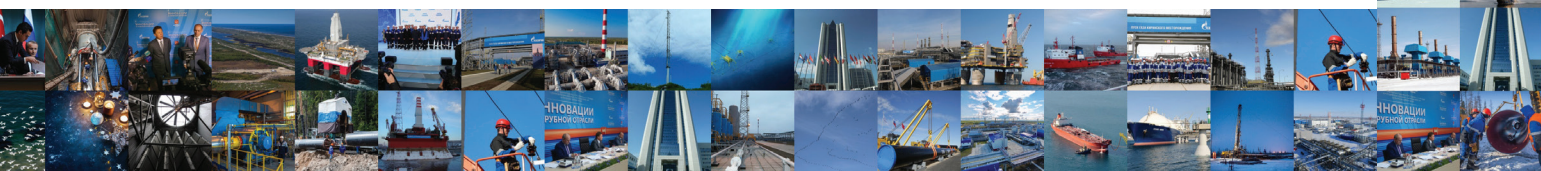
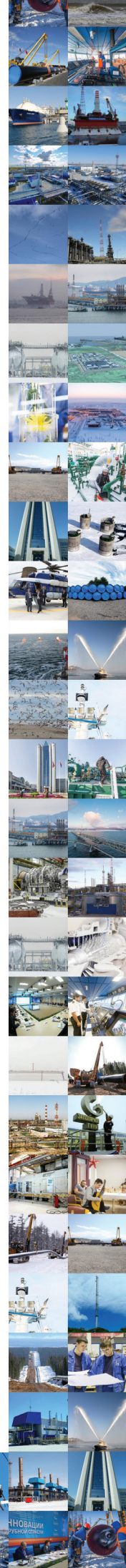
Надежное обеспечение потребителей энергоресурсами невозможно без развития минерально-сырьевой базы. Тема цифровой и технологической модернизации Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи поднимается под рубрикой «Новые технологии и оборудование». Академическими институтами РАН в рамках комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла для нефтегазовой отрасли предложен ряд мероприятий для создания фонда высокодебитных «умных» эксплуатационных скважин и синхронизации процессов наращивания ресурсной базы с развитием нефтеперерабатывающего и химического комплекса России.

В связи с объективной необходимостью освоения регионов Крайнего Севера и Арктики, являющихся главными природными источниками углеводородного сырья, среди ключевых проблем при бурении и эксплуатации скважин выделяют необходимость соблюдения жестких требований к технологии приготовления тампонажных растворов, оптимизации временных и реологических параметров процесса цементирования скважин. Ученые исследовали влияние волнового воздействия на физико-механические свойства цементных тампонажных растворов для определения оптимальных параметров технологии их приготовления и закачивания в заколонное пространство скважин. Описание экспериментов и основные выводы представлены на страницах журнала.

В номере также поднимаются вопросы утилизации пластовых сточных вод, оценки свойств пластовых флюидов и другие актуальные для отрасли и науки темы.

Приглашаю к прочтению!

*Заместитель Председателя Правления, начальник Департамента ПАО «Газпром»,
главный редактор журнала «Газовая промышленность»
В.А. Маркелов*



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕДАКЦИЯ

ИЗДАТЕЛЬ:
ООО «Камелот Паблишинг»

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР:
КОНОВАЛОВА О.В.

ДИРЕКТОР ПО МАРКЕТИНГУ:
ВОСТРУХОВА Е.О.

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР:
ВИСХАДЖИЕВА К.С.

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:
ХАРИОНОВСКИЙ В.В., д.т.н., проф., акад. РАЕН

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:
КРОПОТКИНА О.В.

РЕДАКТОР:
НИКОРА К.Б.

ВЕРСТКА, ДИЗАЙН:
СОНИН Л.Б., ХОТЕЕВА А.И.

КОРРЕКТУРА:
ЕГОРОВА А.А.

АДРЕС РЕДАКЦИИ
108811, Россия, г. Москва,
п. Московский, а/я 1688
Тел.: +7 (495) 240-54-57
E-mail: info@neftegas.info
www.neftegas.info

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-68735 от 17.02.2017, выданное Роскомнадзором.

Подписано в печать 17.10.2022
Формат 60 × 90/8. Бумага мелованная.
Печать офсетная.
Тираж 10 000 экз.
Цена свободная.

Фотографии в номер предоставлены
ПАО «Газпром», дочерними компаниями.

Отпечатано в типографии ИП Роммелаер М.О.:
107045, Россия, г. Москва, Б. Головин пер., д. 11
Перепечатка опубликованных материалов
допускается только по согласованию
с редакцией. Представителем авторов
публикаций в журнале является издатель.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации,
опубликованной в рекламных объявлениях.

ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 10 | 839 | 2022 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
МАРКЕЛОВ В.А.
к.т.н., заместитель Председателя
Правления, начальник Департамента,
член Совета директоров ПАО «Газпром»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
АГИНЕЙ Р.В.
д.т.н., проф., ректор Ухтинского
государственного технического
университета

АКСЮТИН О.Е.
д.т.н., заместитель Председателя
Правления, начальник Департамента
ПАО «Газпром», Главный
исполнительный директор,
член Совета директоров компании South
Stream Transport B.V., чл.-корр. РАН,
чл. АТН РФ

БОЧКАРЕВ А.В.
д.г.-м.н., проф. кафедры общей
и нефтегазовых геологий
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина, действ. чл. РАЕН

БУДЗУЛЯК Б.В.
д.т.н., проф., президент СРО АСГинК,
акад. АТН РФ, АГН, РИА и РЗА

БЫКОВ И.Ю.
д.т.н., проф. кафедры машин
и оборудования нефтяной и газовой
промышленности Ухтинского
государственного технического
университета, действ. чл. РАЕН

ВАСИЛЬЕВ Г.Г.
д.т.н., проф., заведующий кафедрой
строительства и ремонта
газонефтепроводов и хранилищ
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина

ГАЛЫШЕВ Ю.В.
д.т.н., проф. Высшей школы
энергетического машиностроения
Института энергетики Санкт-
Петербургского политехнического
университета Петра Великого

ГОЛОФАСТ С.Л.
д.т.н., проф., заместитель директора
ИТЦ АО «Газпром энергетика»

ГОЛУБЕВА И.А.
д.х.н., проф. кафедры газохимии
РГУ нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина

ГРИГОРЬЕВ Б.А.
д.т.н., проф., начальник отдела ученого
совета ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
чл.-корр. РАН

ДИМИТРИЕВСКИЙ А.Н.
д.г.-м.н., проф., главный научный
сотрудник, научный руководитель
ИПНГ РАН, акад. РАН

ДЮКОВ А.В.
председатель Правления,
генеральный директор
ПАО «Газпром нефть»

ЕРМОЛАЕВ А.И.
д.т.н., проф., заведующий кафедрой
разработки и эксплуатации газовых
и газоконденсатных месторождений
РГУ нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина, действ. чл. РАЕН

ЗАКИРОВ З.С.
д.т.н., директор Института проблем нефти
и газа РАН, проф. РАН

ИСТОМИН В.А.
д.х.н., проф., главный научный сотрудник
Центра технологий добычи газов
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», чл. АГН и РАЕН

ИШКОВ А.Г.
д.х.н., проф., заместитель начальника
Департамента ПАО «Газпром», начальник
Управления, вице-президент и акад. РЗА,
акад. РАЕН и МАТН

КАСЬЯН Е.Б.
к.психол.н., начальник Департамента
ПАО «Газпром»

КИСЛЕНКО Н.А.
к.т.н., начальник Департамента
ПАО «Газпром», генеральный директор
ООО «НИИГазэкономика»

КОНОВАЛОВА О.В.
генеральный директор
ООО «Камелот Паблишинг»

КОНСТАНТИНОВ Е.И.
д.б.н., к.т.н., ведущий научный сотрудник
Центра производственной безопасности
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

КОРОЛЕНКО А.М.
д.т.н., проф., декан факультета
проектирования, сооружения
и эксплуатации систем трубопроводного
транспорта, заведующий кафедрой
нефтепродуктообеспечения
и газоснабжения РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина

МАРТИНОВ В.Г.
д.э.н., к.г.-м.н., проф., ректор РГУ нефти
и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, чл.-корр.
РАО, действ. чл. МАН ВШ, РАЕН и АГН

МИТРОХИН М.Ю.
д.т.н.

МИХАЛЕНКО В.А.
к.т.н., член Правления, начальник
Департамента ПАО «Газпром»

НАСТИЧ С.Ю.
д.т.н., главный научный сотрудник
Центра развития трубной продукции
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

НЕЖДАНОВ А.А.
д.г.-м.н., главный научный сотрудник
Центра обработки и интерпретации
данных геофизических методов
ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (г. Тюмень)

НОВИКОВ С.В.
к.э.н., ректор Уфимского государственного
авиационного технического университета

ПАНКРАТОВ С.Н.
к.э.н., начальник Департамента
ПАО «Газпром»

ПОЗДНЯКОВ А.П.
д.т.н., проф. кафедры общей
и нефтегазовых геологий
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина, акад. РЗА

ПОТАПОВ А.Г.
д.т.н., проф., главный научный
сотрудник Центра разработки
месторождений ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
чл.-корр. РАЕН

РАССОХИН В.А.
д.т.н., проф. Высшей школы
энергетического машиностроения
Института энергетики Санкт-
Петербургского политехнического
университета Петра Великого

СЕМЕНОВА И.П.
д.т.н., проф., директор, главный научный
сотрудник Центра «Высшая инженерная
школа аэрокосмических технологий»
Башкирского государственного
университета

СКРЫННИКОВ С.В.
начальник Департамента ПАО «Газпром»

СТЕПИН Ю.П.
д.т.н., проф. кафедры автоматизированных
систем управления РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина, акад. РАЕН

ТЕРЕХОВ А.Л.
д.т.н., проф., главный научный
сотрудник отдела ученого совета
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

ФОКИН Г.А.
д.т.н., доцент, заведующий базовой
кафедрой газотурбинных агрегатов
для газоперекачивающих агрегатов
Санкт-Петербургского политехнического
университета Петра Великого,
генеральный директор ООО «Газпром
трансгаз Санкт-Петербург»

ФУТИН В.А.
д.т.н., доцент кафедры теплотехники
и энергетического машиностроения
Казанского национального
исследовательского технического
университета имени А.Н. Туполева — КИИ

ХАРИОНОВСКИЙ В.В.
д.т.н., проф., председатель
диссертационного совета
Д 511.001.03 ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
акад. РАЕН

ЧЕРЕПАНОВ В.В.
к.г.-м.н., генеральный директор
ООО «Газпром недр», заместитель
генерального директора
ООО «Газпром инвест», чл. АТН РФ

ШАРОХИН В.Ю.
начальник Департамента
ПАО «Газпром», генеральный директор
ООО «Газпром 335»

НОВОСТИ

АКТУАЛЬНОЕ ИНТЕРВЬЮ

В.И. Лимаренко: «Стремимся к тому, чтобы газ пришел в каждый дом»

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Р.Ю. Дашков, Т.Н. Гафаров, Р.Г. Облеков, Е.В. Каспров, Н.А. Колесников, В.А. Колчин, Г.Г. Кузнецов, С.К. Лымарь, С.В. Никитин, А.А. Попов, М.А. Салахов, В.Н. Тарский, А.В. Хабаров

Эффективный визуальный менеджмент и цифровизация как элементы современной системы разработки шельфовых месторождений

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

А.Н. Дмитриевский, Н.А. Еремин, В.Е. Столяров
Цифровая трансформация при внедрении комплексных научно-технических программ инновационного развития для нефтегазовой отрасли

ГЕОЛОГИЯ

И РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М.В. Чертенков, Ю.А. Котенев

Сверхтяжелые жидкости для гидравлического разрыва пласта

Е.А. Громова, Е.А. Рейтблат, С.А. Заночуев

Особенности обоснования свойств флюидов двухфазных залежей в случае недостаточного объема экспериментальных данных

БУРЕНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН

И.В. Поляков

Влияние волнового воздействия на физико-механические свойства цементных тампонажных растворов в процессе их приготовления для последующего цементирования колонного пространства нефтегазовых скважин

«Уралмаш НГО Холдинг»: выход в море

А.А. Котов, Б.А. Коротаев

Напряженно-деформированное состояние буровой колонны вследствие воздействия крена буровой платформы при проведении работ на акватории

Ю.А. Бурьян, И.Н. Квасов, В.Н. Сорокин

Выбор типа скважинного гидравлического вибратора с применением метода анализа иерархий

6 С.А. Коротков, О.В. Спирина, В.П. Овчинников
Экспресс-метод анализа рисков и оценки вероятности возникновения деформаций обсадных колонн в интервалах многолетнемерзлых пород

14 90

ЮБИЛЕЙ

Владимир Сергеевич Сафонов: неоценимый вклад в реализацию ключевых проектов ПАО «Газпром»

98

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Команда ООО «ГазЭнергоСервис» приняла участие в Международном строительном чемпионате

100

ОХРАНА ТРУДА

И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Фестиваль труда ПАО «Газпром»: впервые в Уфе

103

ЭКОЛОГИЯ

М.Ш. Арабов, З.М. Арабова, Ю.А. Аляутдинова, П.А. Саадати

Анализ современных технологических схем утилизации пластовых сточных вод

104

К.Л. Унанян, Б.О. Будников, А.В. Лобанов, Н.В. Першин, С.А. Шейнфельд

Разработка программного документа по сохранению биологического разнообразия в районах деятельности ПАО «Газпром»

114

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Перечень документов системы стандартизации ПАО «Газпром» (СТО Газпром, Р Газпром), утвержденных и зарегистрированных в период с 19.08.2022 по 31.08.2022

119

70 Перечень документов системы стандартизации ПАО «Газпром» (СТО Газпром, Р Газпром), утвержденных и зарегистрированных в период с 01.09.2022 по 30.09.2022

120

74 Перечень отмененных документов системы стандартизации ПАО «Газпром» (СТО Газпром, Р Газпром) в период с 01.09.2022 по 30.09.2022

120

82

104



Monthly scientific, engineering,
and industrial journal
Founded in 1956

Founder
PJSC GAZPROM

EDITOR-IN-CHIEF
MARKELOV V.A.

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

AGINEY R.V.
AKSYUTIN O.E.
BOCHKAREV A.V.
BUDZILYAK B.V.
BYKOV I.YU.
CHEREPAKOV V.V.
DMITRIEVSKY A.N.
DYUKOV A.V.
ERMOLAEV A.I.
FOKIN G.A.
FUTIN V.A.
GALYSHEV YU.V.
GOLOFAST S.L.
GOLUBEVA I.A.
GRIGORIEV B.A.
ISHKOV A.G.
ISTOMIN V.A.
KASYAN E.B.
KHARIONOVSKY V.V.
KISLENKO N.A.
KONVALOVA O.V.
KONSTANTINOV E.I.
KOROLENOK A.M.
MARTYNOV V.G.
MIKHALENKO V.A.
MITROKHIN M.YU.
NASTICH S.YU.
NEZHDOANOV A.A.
NOVIKOV S.V.
PANKRATOV S.N.
POTAPOV A.G.
POZDNYAKOV A.P.
RASSOKHIN V.A.
SEMENOVA I.P.
SHAROKHIN V.YU.
SKRYNNIKOV S.V.
STEPIN YU.P.
TEREKHOV A.L.
VASILIEV G.G.
ZAKIROV E.S.

EDITORIAL STAFF

Publisher: Camelot Publishing LLC
General director: Konvalova O.V.
Marketing director: Vostrukhova E.O.
Scientific editor: Viskhadzhieva K.S.
Scientific consultant: Kharionovsky V.V.
Publishing editor: Kropotkina O.V.
Editor: Nikora K.B.
Composition and design: Sonin L.B., Khoteeva A.I.
Proofreading: Yegorova A.A.

EDITORIAL OFFICE

108811, Russia, Moscow,
set, Moskovsky, P.O. box 1688
Phone: +7 (495) 240-54-57
E-mail: info@neftegas.info
The journal is included in the list of Higher Attestation
Commission, "the leading reviewed scientific journals
and editions in which the basic scientific results
of dissertations on competition of scientific degrees
of doctor and candidate of sciences should
be published".

SUBSCRIPTION INDEX IN THE CATALOG

URAL-PRESS 81450

It's possible to subscribe at Camelot Publishing LLC
by phone: +7 (495) 240-54-57
or by mail: gp@neftegas.info

Print in 10 000 copies

Agreed price

Signed to press on 17.10.2022

All photos are provided by PJSC GAZPROM, subsidiary
companies

Printed by IP Rommelaer M.O. (individual entrepreneur)
11 Bolshoy Golovin Lane, 107045, Moscow, Russia
The materials published in the GAS INDUSTRY journal
can not be reproduced without the editorial office's
consent. The editorial office is not responsible
for reliability of the information contained
in advertising materials.



NEWS

6

SPOTLIGHT INTERVIEW

V.I. Limarenko: "Committed
to providing every home with gas"

14

DIGITALIZATION

R.Yu. Dashkov, T.N. Gafarov,
R.G. Obekov, Ye.V. Kasprov,
N.A. Kolesnikov, V.A. Kolchin,
G.G. Kuznetsov, S.K. Lyar, S.V. Nikitin,
A.A. Popov, M.A. Salakhov, V.N. Tarskiy,
A.V. Khabarov
Effective visual management
and digitalization as elements
of a modern offshore development
system

16

NEW TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

A.N. Dmitrievsky, N.A. Eremin,
V.Ye. Stolyarov
Digital transformation when
implementing integrated science
and technology programs
for innovative development
in the petroleum industry

24

GEOLOGY AND MINING

M.V. Chertenkov, Yu.A. Kotenev
Superheavy fluids for hydraulic
fracturing

36

E.A. Gromova, E.A. Reitblat,
S.A. Zanochev

Specific features of substantiating
reservoir fluid properties in two-
phase pools in the case of insufficient
experimental data

50

DRILLING AND WELL CONSTRUCTION

I.V. Polyakov
Effect of wave action on cementing
slurries on their mechanical
properties during their preparation
for subsequent cementing
of petroleum well annuli

62

Uralmash Oil and Gas Equipment
Holding: Out to sea

70

A.A. Kotov, B.A. Korotaev
Drill string stress-strain state
caused by drilling platform rolling
during offshore operations

74

Yu.A. Burian, I.N. Kvasov, V.N. Sorokin
Selection of downhole hydraulic
vibrator based on analytic hierarchy
process

82

S.A. Korotkov, O.V. Spirina,
V.P. Ovchinnikov
Deformation of casing strings
in permafrost sections – express
method of risk analysis and probability
assessment

90

ANNIVERSARY

Vladimir S. Safonov: Invaluable
contribution to the implementation
of the PJSC Gazprom's key projects

98

CONSTRUCTION AND OPERATION OF OIL AND GAS PIPELINES

The 000 GasEnergoService team
took part in the World Construction
Championship

100

OCCUPATIONAL PROTECTION AND INDUSTRIAL SAFETY

PJSC Gazprom's Labor Festival:
First time in Ufa

103

ECOLOGY

M.Sh. Arabov, Z.M. Arabova,
Yu.A. Alyautdinova, P.A. Saadati
Review of contemporary processes
of formation wastewater disposal

104

K.L. Unanyan, B.O. Budnikov,
A.V. Lobanov, N.V. Pershin,
S.A. Sheinfeld
Developing the program document
for biodiversity conservation
in the areas of PJSC Gazprom's
activities

114

STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

List of documents
of PJSC Gazprom standardization
system (STO Gazprom, R Gazprom),
approved and registered during
the period from 19.08.2022
to 31.08.2022

119

List of documents
of PJSC Gazprom standardization
system (STO Gazprom, R Gazprom),
approved and registered during
the period from 1.09.2022
to 30.09.2022

119

List of documents
of PJSC Gazprom standardization
system (STO Gazprom, R Gazprom),
canceled during the period
from 1.09.2022 to 30.09.2022

120

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

УДК 316.422:553.981.2:004.896

А.Н. Дмитриевский, д.г.-м.н., проф., акад. РАН, ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (Москва, Россия), a.dmitrievsky@ipng.ru

Н.А. Еремин, д.т.н., проф., ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия), ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, ermn@mail.ru

В.Е. Столяров, ФГБУН Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, bes60@rambler.ru

В статье обсуждаются основы цифровой трансформации и ее преимущества при реализации мероприятий, предложенных академическими институтами РАН в рамках комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла для нефтегазовой отрасли. Рассматриваются индикаторы развития, возможные риски при внедрении программы цифровизации, а также последствия отказа от нее. Основная цель изысканий состоит в создании и реализации технологий цифрового моделирования, разработке вычислительных платформ и цифровых двойников продуктивных пластов, скважин, газосборных сетей, объектов подготовки и транспортировки газа в целях обеспечения цифрового лидерства российских добывающих компаний на мировом рынке. Новизна ожидаемых результатов, услуг и технологий заключается в том, что впервые была предложена отечественная программа, основанная на осуществленных ранее в рамках государственных планов развития разработках с использованием ограниченных в финансировании инновационных решений.

Авторами приведены примеры реализации и решения задач согласно разработанной при ведущем участии Института проблем нефти и газа РАН программы «Цифровая и технологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи в условиях декарбонизации». Мероприятия представляют собой совокупность скоординированных по срокам и задачам взаимосвязанных научных, научно-технических, цифровых решений и инновационных технологий, обеспечивающих достижение поставленной цели – цифровой и технологической модернизации Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи.

Выполнение программ развития позволяет сформировать основы цифрового и технологического лидерства нефтегазовой отрасли, создать фонд высокотехнологичных скважин, обеспечить ежегодный прирост запасов углеводородов и синхронизировать развитие ресурсной базы с развитием нефтеперерабатывающего и химического комплекса России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПРОГРАММА, РАЗВИТИЕ, ТРАНСФОРМАЦИЯ, ИНФОРМАЦИЯ, ИННОВАЦИИ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЭКОНОМИКА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА, НЕФТЕГАЗОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ.

Богатейшая минерально-сырьевая база нефтегазового комплекса России, существующая инфраструктура, наличие квалифицированных кадров и значительный инновационный потенциал обуславливают

необходимость и возможность перехода от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию отрасли. Этот переход знаменует первый этап реализации стратегии цифровой модер-

низации (ЦМ) для обеспечения энергетической безопасности страны и лидерства российских нефтегазовых компаний.

Нефтяная и газовая промышленность обеспечивает ведущую

A.N. Dmitrievsky, DSc in Geology and Mineralogy, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences [Institut problem nefti i gaza Rossijskoj akademii nauk] (Moscow, Russia), a.dmitrievsky@ipng.ru

N.A. Eremin, DSc in Engineering, Professor, National University of Oil and Gas “Gubkin University” (Moscow, Russia), Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, ermn@mail.ru

V.Ye. Stolyarov, Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, bes60@rambler.ru

Digital transformation when implementing integrated science and technology programs for innovative development in the petroleum industry

The article discusses the basics of digital transformation and its advantages when implementing activities proposed by academic institutions of the Russian Academy of Sciences within integrated science and technology programs of full innovation cycle for the petroleum industry. It also considers development indicators, possible risks of digitalization program implementation, and the consequences of its rejection. The research primarily aims to create and implement digital modeling technologies and develop computation platforms and digital twins of reservoirs, wells, gas gathering networks, gas treatment and transportation facilities to ensure the digital leadership of Russian production companies on the global market. The novelty of the expected results, services, and technologies lies in the first-time proposed domestic program based on the technologies previously implemented within the state development plans using innovative solutions with limited funding.

We provide some examples of implementation and problem solutions according to the program named “Digital and Technical Upgrade of the World’s Largest Oil & Gas Production Center, Western Siberian [Zapadno-Sibirskiy], under Decarbonization Conditions” developed at the leading participation of Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The activities represent a combination of interrelated scientific, scientific-and-technical, digital solutions and innovative technologies with coordinated timelines and objectives to reach the set goal: digital and technical upgrade of the Western Siberian oil and gas production center.

The implementation of development programs makes it possible to form the basis for digital and technological leadership in the oil and gas industry, create a fund of high-tech wells, ensure an annual increase in hydrocarbon reserves and synchronize the development of the resource base with the development of the oil refining and chemical complex of Russia.

KEYWORDS: PROGRAM, DEVELOPMENT, TRANSFORMATION, INFORMATION, INNOVATIONS, UPGRADE, ECONOMY, SMART TECHNOLOGY, DIGITAL PLATFORM, PETROLEUM FIELD.

роль в реализации стратегии цифрового преобразования национальной экономики. Тесная координация работы нефтегазодобывающих компаний с институтами РАН в области ЦМ дает возможность найти эффективные решения в виде низкоуглеродной парадигмы развития и построения цифровой нефтегазовой экономики. Реализация проектов комплексных научно-технических программ (КНТП) полного инновационного цикла, предложенных отечественной наукой, приведет к промышленному росту, развитию научной базы и увеличению конкурентоспособности различных отраслей промышленности России.

В рамках реализации Указа Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» институтами РАН в 2019 г. была подготовлена КНТП «Цифровая и геотехнологическая модернизация крупнейшего

в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи». Мероприятия, предусмотренные программой, обеспечивают повышение эффективности нефтегазодобычи и переработки углеводородного сырья, формирование новых источников и способов транспортировки и хранения энергии, широкое внедрение и использование экологически чистых технологий.

В соответствии с утвержденным перечнем поручений Президента РФ по итогам заседания Совета по науке и результатам встречи с учеными Сибирского отделения РАН Министерством энергетики РФ совместно с ведущими нефтегазовыми компаниями был подготовлен проект по развитию и модернизации Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи. Анализ материалов показывает, что основной запрос касается увеличения добычи нефти и газа, а также повышения эффективности разработки крупных, гигантских и уникальных

месторождений углеводородов (УВ) Западной Сибири.

Совет по приоритетному направлению научно-технологического развития «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» одобрил представленные мероприятия КНТП «Цифровая и технологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи». Программа предусматривает проведение совместных скоординированных научных исследований нефтегазовыми компаниями и институтами РАН, создание новых и передачу для реализации в ТЭК имеющихся в отношении России санкций и ограничений были определены ключевые направления развития

нефтегазовой отрасли экономики нашей страны:

- изменение системы газовых поставок за счет развития производства и транспортировки СПГ;
- снижение зависимости показателей добычи от внедрения зарубежных технологий и уровня программно-технических средств иностранного производства;
- прогнозирование устойчивости российской нефтегазовой промышленности, выявление рисков, способных оказать негативное влияние на деятельность предприятий.

Также отражены негативные тенденции, сдерживающие развитие отрасли:

- сокращение численности рабочей силы, потери технических и квалификационных навыков, недостаток квалифицированных кадров с цифровыми компетенциями;
- низкое качество и ограниченная доступность банков геологических данных;
- отсутствие современных нормативов и стандартов в области цифровизации нефтегазовой отрасли.

Достижение цели исследования обеспечивается результатами академической программы «Фундаментальный базис инновационных технологий в нефтяной и газовой промышленности», в реализации которой в 1995–2022 гг. приняли участие 28 институтов РАН. До конца 2035 г. КНТП предусматривается стратегическое сотрудничество с нефтегазовыми компаниями, а также апробирование основных технологий до 2025 г.

Поздняя стадия эксплуатации большинства крупнейших нефтегазовых месторождений характеризуется наличием на объектах развитой инфраструктуры квалифицированного персонала, обладающего профессиональными компетенциями в области добычи УВ. Современные отечественные методики в длительной перспективе позволяют продолжить дальнейшую добычу в условиях технологиче-

ских и геологических осложнений и обеспечить безопасность эксплуатации месторождений [1].

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Координатором программы – Институтом проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН – в настоящее время выполняются работы по ряду специальных тематик в рамках государственного задания. Среди основных тем исследований:

- разработка научно-методических основ поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла;
- создание научных основ новой системной методологии прогноза, поисков и освоения залежей УВ, включая матричную нефть в газонасыщенных карбонатных отложениях нефтегазоконденсатных месторождений;
- совершенствование методов моделирования, лабораторных и промысловых исследований для создания новых технологий эффективного экологически чистого извлечения УВ в сложных горно-геологических условиях;
- экспериментальные и теоретические исследования межфазных явлений, термодинамических, физико-химических и геомеханических свойств нефтегазовых пластовых систем для повышения эффективности освоения трудноизвлекаемых запасов УВ;
- повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон в условиях меняющегося климата;
- создание фундаментального базиса энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений;
- исследование, добыча и освоение традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа;

– разработка рекомендаций в условиях политики ЕС по декарбонизации энергетики (проведение фундаментальных, поисковых, прикладных, экономических и междисциплинарных исследований);

- научное обоснование влияния гидрохимических и микробиологических процессов на развитие коррозионных явлений при совместном хранении водорода и метана в широком диапазоне концентраций в геологических объектах различного типа.

За время разработки КНТП и проведения исследований по тематикам в рамках государственного задания фактически сформировалась новая отечественная нефтегазовая наука, обеспечившая создание прорывных инновационных технологий по всей цепочке, включая предложения по поиску, разведке, разработке, транспорту, переработке, а также проблемам энергоэффективности, ресурсосбережения, импортозамещения и ЦМ нефтегазового комплекса [2]. По многим технологиям и изобретениям получены российские и зарубежные патенты. Представленные в КНТП мероприятия в дальнейшем нашли развитие и отражение в Распоряжении Правительства РФ от 28.12.2021 № 3924-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса»: определены участники развития отрасли в виде субъектов ТЭК и ряда министерств; сформированы приоритеты, цели и задачи цифровой трансформации; обозначены проблемы и вызовы; введены отчетные показатели, достигнуть которых планируется до 2030 г.

В соответствии со стратегическими направлениями развития в отрасли должны быть внедрены технологии больших данных (big geo data) и искусственного интеллекта, робототехники и сенсорики, беспроводной связи и цифровых моделей объектов добычи, нейротехнологии. Пример использования в КНТП спутниковых каналов связи

для получения данных с различных объектов месторождений для мониторинга и диагностики объектов ТЭК приведен на рис. 1. Реализация проектов и мероприятий по модернизации отрасли будет способствовать достижению ряда ключевых показателей, установленных Указом Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Представленные ИПНГ РАН материалы для ПАО «Газпром» и ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в 2019–2022 гг. соответствуют по составу предложений и оформлению Постановлению Правительства РФ от 19.02.2019 № 162 «Об утверждении Правил разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации».

Как было отмечено Президентом РФ на заседании Совета по науке и образованию 8 февраля 2021 г., механизм практического применения КНТП «позволил объединить возможности вузов, научных организаций, частного бизнеса и компаний с государственным участием, чтобы мы могли не только создавать, но и быстро внедрять новые технологии» в соответствии со «Стратегией научно-технологического развития России». Внедрение Программы на предприятиях ТЭК РФ будет способствовать:

- созданию отечественных энерго- и ресурсосберегающих, экологически чистых инновационных технологий, обеспечивающих эффективность освоения нефтегазовых ресурсов и добычи;
- цифровой и технологической модернизации крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи;
- повышению эффективности и продлению срока рентабельной



Рис. 1. Применение спутниковых каналов связи для объектов добычи
Fig. 1. The use of satellite communication channels for production facilities

эксплуатации крупных и уникальных нефтегазовых месторождений на основе цифровой и технологической модернизации производства;

- максимальному увеличению степени извлечения УВ из недр уникальных и крупных месторождений;

- увеличению ресурсного потенциала нефтяных и газовых компаний за счет выявления новых запасов и развития геологоразведки;

- максимизации экономической и технологической эффективности действующих производственных комплексов нефтегазодобычи, их реконструкции и модернизации на основе внедрения инновационных, в том числе отечественных цифровых технологий и технических средств;

- созданию энергетических комплексов и высокоэффективных установок подготовки и сжижения газа для газо- и энергоснабжения населенных пунктов и предприятий;

- развитию форм научно-методического и образовательного профессионального обеспечения цифровой и технологической модернизации нефтегазового производства;

- обеспечению социально-экономического, технологического и экологически сбалансированного развития северных регионов и инновационной инфраструктуры;

- увеличению налоговых поступлений в бюджеты, созданию новых производств с высокой добавленной стоимостью, совершенствованию энерго- и газоснабжения предприятий и населенных пунктов, повышению занятости и качества жизни населения.

На уровне нефтегазовых месторождений внедрение мероприятий по цифровой трансформации позволит обеспечить [3]:

- снижение влияния человеческого фактора на процессы добычи, транспорта и переработки УВ;

- автоматизацию управляющих воздействий, выполнение оценки состояния оборудования и влияния отклонений (с учетом воздействий) в автоматическом или роботизированном режиме на безопасность при переходе на интеллектуальные технологии и внедрении роботизированных систем управления;

- прогнозирование, анализ рисков аварий и внештатных ситуаций;

- использование информационно-коммуникационной базы процессов и активов;

- ранжирование планов и объемов работ с учетом рисков, ресурсов и компетенций;

- локализацию отказов и минимизацию последствий в нештатных ситуациях;

- реализацию проектных показателей в соответствии с критериями управления;

- динамику процессов, снижающих производительность или качество продукции;

- целостность управления в соответствии с уровнем компетенций персонала и распределением функций;

- ведение интегрированных моделей объектов и технического состояния в реальном масштабе времени.

Координация работ в рамках Программы осуществляется научным руководителем ИПНГ РАН, профессором, академиком РАН А.Н. Дмитриевским. По мнению разработчиков КНТП, масштабное внедрение технологий до 2024 г. позволит дополнительно:

- добыть порядка 100 млн т легкой маловязкой нефти с низкой себестоимостью;

- продлить на десятилетия сроки эффективной эксплуатации крупных и гигантских нефтяных и газовых месторождений;

- реализовать технологии глубоких переделов углеводородного сырья с получением высоколиквидной продукции;

- создать новые отечественные научно-технические и технологические решения, обеспечивающие сжижение низконапорного и использование сжиженного природного газа для газификации населенных пунктов;

- внедрить современные технологии совместного хранения природного газа и водорода, углекислого газа;

- создать методику применения чистых возобновляемых источников энергии и обеспечения декарбонизации с возможностью поставки энергии для транспортной отрасли и промышленности.

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Цифровая трансформация станет эффективной только в том случае, если будут проведены следующие преобразования в нефтегазовом комплексе:

- создан инструментальный базис, генерирующий большие

геоданные, позволяющие анализировать происходящие производственные процессы и тенденции, осмысливать бизнес в целом, формировать стоимостную оценку активов и определять объемы работ;

- подготовлен персонал, эксперты и носители знаний, обеспечивающие создание и поддержание инновационной среды и культуры предприятия/проекта;

- созданы технологии/процессы, позволяющие формировать новые бизнес-процессы на основе алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для принятия управленческих решений;

- трансформированы организационно-штатные структуры, обеспечивающие разработку решений, мониторинг состояния и финансирование в процессе ЦМ предприятий. Задействованные административные структуры представляют собой команду внедрения, которая в условиях происходящих преобразований должна иметь мотивационную стимуляцию и инженерное мышление для своевременного принятия управленческих решений.

Мероприятия КНТП предусматривают совместные исследования университетов, различных институтов РАН и научных центров компаний согласно техническим заданиям, а также масштабирование принятых в рамках стратегий развития инновационных технологий, обеспечивающих комплексную автоматизацию, цифровую и технологическую трансформацию с разработкой отраслевых документов [4].

ПРЕИМУЩЕСТВА ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Политика цифрового управления обеспечивает целый ряд преимуществ:

- непрерывный расчет рисков режимов эксплуатации и состояния оборудования для обеспечения безаварийного производства;

- анализ технологической и экологической безопасности, снижение вероятности отклонений

от оптимальных режимов разработки и добычи на месторождениях за счет цифровых технологий;

- передачу компетенций на уровень роботизированных систем, что снижает влияние человеческого фактора и предусматривает ситуационное управление на основе моделей;

- автоматизированную подстройку режимов согласно геолого-технологической модели;

- автоматизированный расчет баланса по скважинам, промыслам и управление режимами;

- учет ресурсов, планирование работ, автоматическое оформление отчетных форм;

- оптимизацию нагрузки по скважинам и оборудованию инфраструктуры месторождений;

- адаптацию системы управления режимами месторождения в реальном масштабе, соответствие управления работой промыслов проектным показателям, моделям и режимам.

Реализация КНТП подразумевает совместную работу с использованием компетенций каждого из участников исследований и передачу успешных результатов проектным, межведомственным и межотраслевым предприятиям, научным центрам. Программа включает все этапы инновационного цикла – от получения и представления заказчику экспертных знаний до внедрения в производство перспективных технологий развития.

Тематика программы разработана исходя из потребности сохранения объемов добычи и продления сроков эксплуатации месторождений. Это особенно важно с учетом того, что на 01.01.2021 Государственным балансом запасов РФ было учтено 3372 месторождения, из которых 2164 находятся на этапе промышленной разработки, а 1208 – на этапе разведки и пробной эксплуатации [5].

Динамика показателей эксплуатации нефтяных и газовых месторождений с использованием инновационных технологий КНТП должна обеспечить эффективное

извлечение остаточных запасов нефти и газа для всех находящихся или вводимых в эксплуатацию месторождений.

Различие в получаемом доходе за счет более глубокого извлечения природных запасов нефти и газа при использовании традиционных, цифровых и интеллектуальных технологий приведено на рис. 2.

Председатель Правления ПАО «Газпром» А.Б. Миллер в письме на имя Министра энергетики РФ А.В. Новака от 19.11.2019 № 01-782 об участии Общества в реализации КНТП и проектов полного инновационного цикла для Западно-Сибирского региона отметил заинтересованность в развитии следующих направлений:

- разработка интеллектуальных систем оперативного геолого-технологического мониторинга, перспективного планирования и управления обустройством месторождений добывающих предприятий ПАО «Газпром»;
- развитие и применение технологий цифрового моделирования, создание цифровых двойников (от англ. digital twin) продуктивных пластов, скважин, газосборных сетей, объектов подготовки и транспортировки газа.

Включенный в предложения КНТП Западно-Сибирский регион в настоящее время:

- занимает первое место в мире по масштабу и объемам добычи нефти и газа;
- имеет площадь 2,5 млн км², половина из которых находится за Полярным кругом;
- содержит и обеспечивает порядка 2/3 запасов и текущих объемов добычи;
- включает более 700 месторождений с запасами нефти и конденсата и 250 месторождений с ресурсами свободного газа.

Конечная цель КНТП состоит в достижении цифрового и технологического лидерства национальных нефтегазодобывающих компаний за счет ЦМ, что позволит обеспечить:

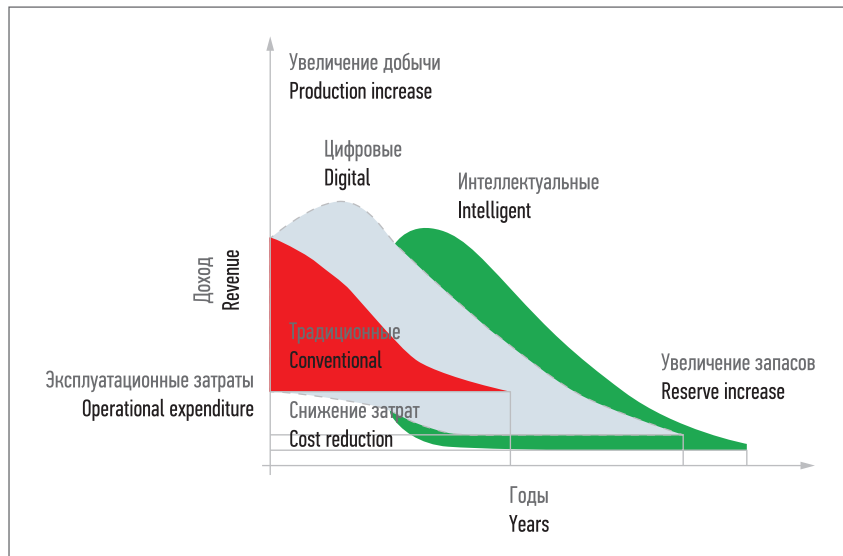


Рис. 2. Эффективность показателей добычи для различных технологий
Fig. 2. Production performance efficiency for various technologies

- нефтегазовую безопасность страны;
- улучшение экологической обстановки;
- конкурентоспособность нефтегазовых технологий;
- новые рабочие места с цифровыми компетенциями;
- безаварийную эксплуатацию месторождений и транспортной системы.

Цифровая и технологическая модернизация Западно-Сибирского центра газодобычи создаст условия для максимальной загрузки созданных мощностей, увеличения объемов производства газа и поддержания основных фондов в работоспособном состоянии в течение нескольких десятилетий. Программа потребует проведения автоматизации объектов и стандартизации типовых решений, обеспечит мониторинг проведения строительных, геолого-разведочных, транспортных и научно-исследовательских работ и услуг. Реализация предложений проекта на самой начальной стадии предусматривает создание в длительной перспективе концепции оптимального планирования и разработки цифровых технологий, позволяющей для крупных компаний:

- оптимизировать архитектуру производства и добычи УВ, режимы

работы и сопровождения моделей эксплуатации, диагностики, обслуживания;

- сократить затраты на проектирование и изготовление за счет цифровых решений;
- перейти к программе освоения арктических месторождений, обеспечив при этом технологический суверенитет за счет снижения импорта материалов и сервисов;
- снизить влияние потенциальных угроз: санкций на использование программного обеспечения, оборудование систем управления, программных «закладок», возможностей информационного влияния на процессы;
- сократить объемы утечки информации за рубеж и др.

Аппаратное оснащение месторождений специальным оборудованием позволяет уже на стадии геологоразведки выявлять разломы и природные трещины, интервалы повышенной трещиноватости и раздробленности, каналы фильтрации флюида, области концентрации напряжений и другие свойства, скрытые для методов традиционной сейсморазведки. Так, при оснащении нефтяного месторождения мультисенсорной скважинной (площадной) волоконно-оптической системой для сейсмической томографии

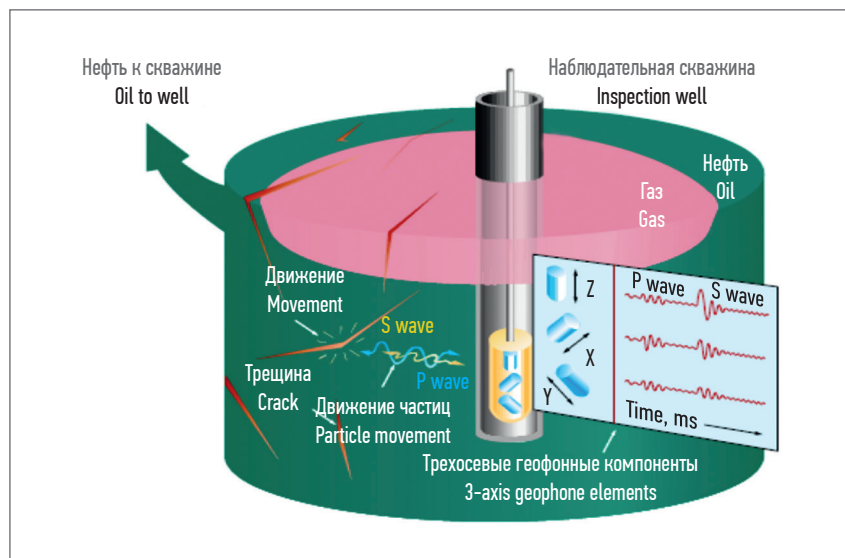


Рис. 3. Скважинная и пластовая томография месторождения
Fig. 3. Well and formation tomography of a field

определяется интенсивность излучения, исследуются источники эмиссии, представленные разномасштабными структурно-геологическими и энергетическими неоднородностями. Это позволяет определить запасы и эксплуатационные режимы добычи нефти до освоения значительных вложений в обустройство месторождения. Пример исследований с помощью скважинной и пластовой томографии приведен на рис. 3.

Реализация Программы КНТП будет стимулировать раскручивание восходящей спирали производственного, инвестиционного и потребительского спроса на современные технологии как на федеральном, так и на региональном уровне, что приведет к росту отечественной промышленности, научной базы и конкурентоспособности российских компаний на мировом рынке, обеспечит поддержание уровня и показателей добычи, предоставит персоналу возможность освоения цифровых специальностей. Именно внутренний спрос служит главным и наиболее надежным двигателем экономического и социального прогресса в условиях имеющейся санкционной политики и происходящего передела рынков поставок продукции и сырья [6].

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

При проведении работ по КНТП реализация происходит в несколько этапов. В рамках НИР предусмотрено создание:

- технологий и инструментальных методов управления цифровым производством на основе разработки не имеющих зарубежных аналогов цифровых двойников;
- нормативно-методических основ (концепции, математические модели, программные комплексы и рекомендации) модельно-предиктивного управления цифровым газовым производством в режиме реального времени;
- цифровой платформы центра интегрированных операций на основе big geo data и промышленного интернета вещей для принятия конструкторских, проектных и инженерных решений на основе моделирования многофазных течений в различных средах, технологических процессов, транспортных систем, логистических потоков.

Структура предлагаемого на этом этапе Центра интегрированных операций разработки и эксплуатации нефтегазового месторождения приведена на рис. 4.

В рамках выполнения опытно-конструкторских работ предусмотрены разработка и внедрение:

- чувствительных элементов, технологий и методов управления цифровым производством с применением оптоволоконных распределенных систем;
 - пилотного проекта предиктивного управления нефтегазодобычей на основе цифрового актива добычи (скважин и группы скважин, промыслов);
 - эффективной «умной» скважины и цифрового месторождения, включая управление единым центром технологических операций и его мониторинг;
 - инструментов интегрированного планирования и оптимизации цифрового двойника объекта нефтегазодобычи с построением единого информационного пространства;
 - методологии промышленного интернета вещей для создания системы эксплуатации типа «мобильный рабочий» и внедрения безлюдных технологий для эксплуатации;
 - шаблона комплексного решения для дальнейшего тиражирования/масштабирования цифрового двойника и геосферной обсерватории;
 - масштабируемого инструментария цифрового производства для нефтегазового месторождения и предприятия;
 - единой цифровой платформы в виде программно-аппаратного комплекса и постоянно действующих математических и численных моделей с использованием превентивного управления и распределенного ресурса предприятия;
 - центра интегрированных операций по нефтегазодобыче с возможностью непрерывного удаленного контроля и управления, оптимизации затрат на эксплуатацию, включая все стадии жизненного цикла от разведки, обустройства и капитального ремонта до списания (рис. 5).
- Для промышленного внедрения и масштабирования мероприятий предусмотрено:
- последовательное подключение к цифровой платформе

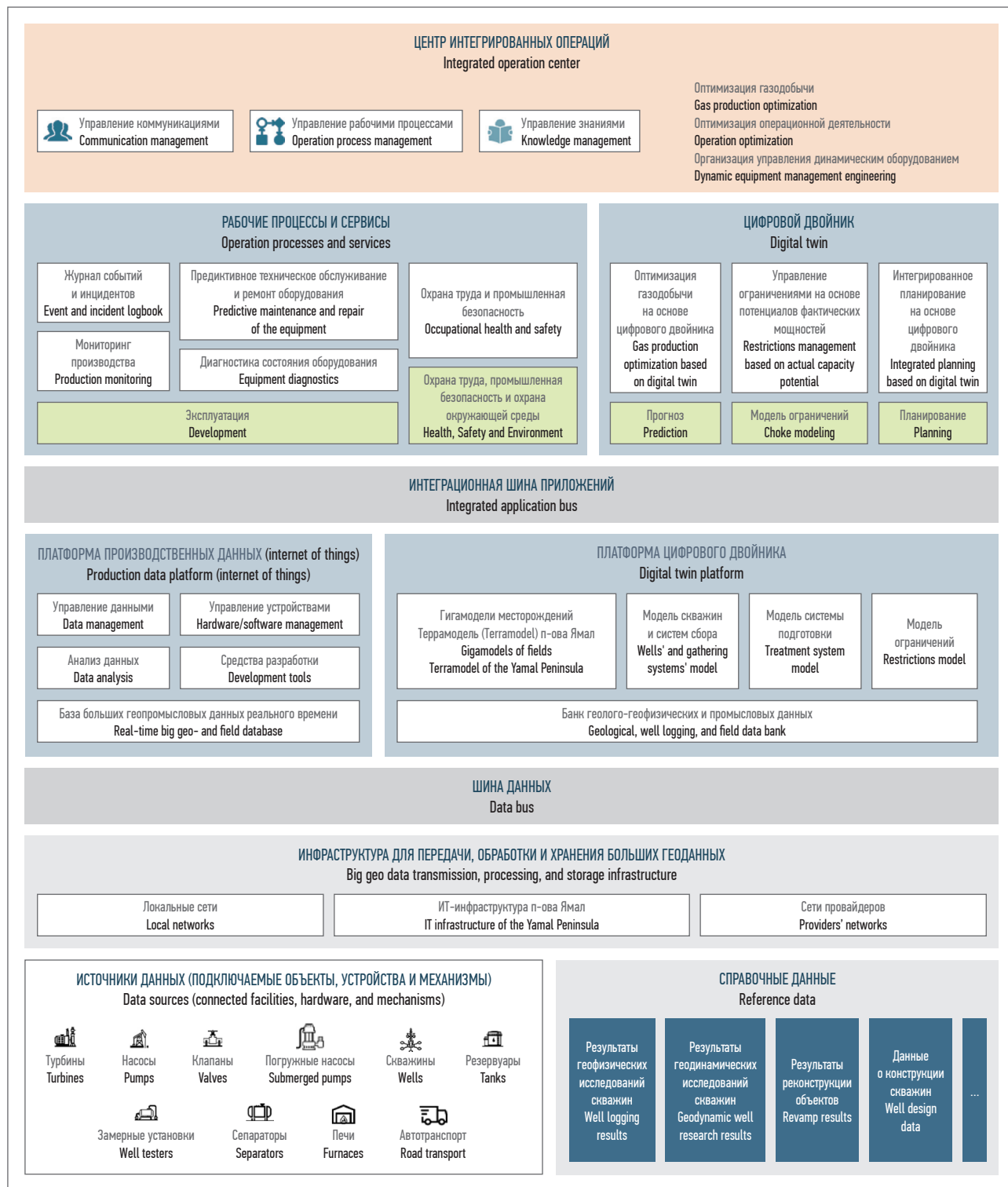


Рис. 4. Структура центра интегрированных технологических операций
Fig. 4. Structure of the integrated process operation center

моделей цифровых двойников месторождений в каждом нефтегазоносном регионе или на нефтегазовом предприятии;
– создание интеллектуальной структуры: скважина – промысел –

месторождение – добывающее общество – группа компаний;
– проведение организационных преобразований структур, в том числе ключевых добывающих дочерних обществ и администрации;

– разработка технологий добычи из вновь выявленных или пропущенных нефтегазовых залежей на основе детального изучения и геолого-геофизического моделирования строения, создание



Рис. 5. Центр интегрированных технологических операций
Fig. 5. Integrated process operation center

геомеханической и гидродинамической 4D-моделей, математического симулятора для прогноза развития, в том числе при применении многостадийного гидроразрыва пласта [7].

НОВИЗНА ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Уровень ожидаемых результатов, услуг и технологий в условиях ограниченного финансирования определяется тем, что впервые предусмотрено внедрение:

- инновационных научно-технических и технологических решений для создания инструментального базиса, математических моделей, программно-аппаратных комплексов и технологий цифрового производства [8]. В процессе реализации предусматривается разработка прототипов оборудования и прикладного программного обеспечения, которые будут использоваться для развития автоматизации, высокоэффективной эксплуатации, а также диагностики за счет внедрения программно-технических комплексов с использованием алгоритмов;
- оборудования интерактивного банка геолого-геофизических и промысловых данных с использованием технологии big geo data для интегрированного подсчета

запасов, контроля и управления добычей нефти и газа в режиме реального времени и перспективе;

- архитектуры интерактивного банка для интегрированного непрерывного измерения, контроля и управления добычей с формированием множества типовых производственных операций на базе доступных модельных и экспериментальных данных и нейросетевого моделирования цифрового нефтегазового производства;
- платформы геопромысловых данных (подсчет запасов, проект разработки и др.) на основе алгоритмов глубокого обучения в целях формирования интегрированной базы;
- методов интегрированного моделирования, планирования и автоматизированного управления процессами в целях снижения экономических и производственных потерь;
- системы управления цифровым нефтегазовым месторождением и скважинами (из удаленного центра интегрированных операций) и оценки эффективности моделирования для автоматизированного управления скважинами, системами подготовки и качества продукции, подготовки к транспортировке;

– инновационных программно-аппаратных технологий, киберфизических систем, малолюдных технологий для контроля и управления месторождениями;

- комплекса математических, численных моделей, алгоритмов и способов повышения эффективности разработки месторождения, куста скважин и призабойной зоны;
- математического моделирования, планирования и создания моделей цифровой добычи;
- макетных образцов действующей антенной системы пространственного контроля добычи и безопасности месторождения;
- математической модели пассивной сейсмологии малоэнергоемких геодинамических процессов и процессов фильтрации, детализирующих характеристики коллекторов и пространственную неоднородность продуктивных пластов и уточняющих их геомеханические и емкостно-фильтрационные характеристики.

По существу, для обеспечения роста добычи УВ предлагается не имеющий аналогов в практике программно-аппаратный комплекс на основе технологий цифровизации управленческих и производственных процессов.

Мероприятия КНТП направлены на предупреждение внутренних

рисков, включающих проектные, технические, технологические, организационные, информационные и финансовые потери. В основу их реализации включены элементы цифровых экосистем нефтегазовых компаний с применением ряда инновационных технологий:

- мультисенсорных систем оперативного геолого-технологического мониторинга с использованием технологий измерения и анализа распределенных показателей температуры, давления, деформации, перемещения, акустики и других измерений;
- систем искусственного интеллекта для планирования разработки месторождений;
- систем интегрированного управления освоением месторождений;
- цифрового моделирования продуктивных пластов, скважин, газосборных сетей, объектов подготовки, состава, учета и транспортировки газа;
- цифровых двойников подземной и наземной инфраструктуры;
- синхронизации элементов подземной и наземной инфраструктуры с возможностью предиктивной аналитики и моделирования режимов управления.

Планирование разработки месторождений предполагает использование различных элементов цифровой трансформации: беспроводных систем связи, возобновляемых источников энергоснабжения, дополненной реальности, скважинной и пластовой диссипативной сейсмометрии, геологической петророботики, интерактивной базы данных осложнений оборудования и технологий, внедрения элементов бионической суперскважины.

ИНДИКАТОРЫ ЦИФРОВОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

Для таргетирования цифровой и технологической модернизации целесообразно использовать ряд целевых показателей (индикаторов), подлежащих отчетности и контролируемых администрацией. К ним относятся рост капитали-

зации компаний и разведанных запасов, прирост добычи, снижение удельных эксплуатационных затрат, количество центров интегрированных операций, роботизированных комплексов, оснащенных системами мониторинга и управляемых в реальном времени скважин и месторождений, технологических полигонов развития для создания новых технологий, систем «мобильный рабочий» [9].

Основные участники КНТП – институты РАН, включая ИПНГ РАН, а также Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, РФЯЦ – ВНИИЭФ – имеют необходимые компетенции и состав специалистов. Реализация в нефтегазовой отрасли мероприятий комплексной программы обеспечит рост ключевых показателей эффективности: снижение эксплуатационных затрат (за счет внедрения технологий цифрового газового производства) в виде ежегодной 5%-й экономии, снижение частоты отказов, инцидентов и аварий на ~ 5 % в год, рост производительности труда до 3 % ежегодно.

В последнее время нефтегазовые компании проводят политику создания собственных институтов развития и расширения компетенций, что не всегда представляется эффективным. Организация работ без привлечения центров компетенций в виде специализированных институтов увеличивает время их выполнения и не обеспечивает достижения планируемых результатов, а также имеет повышенные риски финансовых потерь. Только компетентность исполнителей, сроки изготовления и качество разработок, их оригинальность определяют конкурентность и возможность лидирования на рынке добычи и поставки продукции.

Эксплуатация и модернизация уникальных месторождений требуют своевременного изучения, разработки и реализации комплекса мероприятий на основе программно-целевого подхода. В перечень работ входит созда-

ние научно-методических основ по количественной и геолого-экономической оценке месторождений, мониторингу ресурсов и запасов углеводородного сырья, планирование последовательности мер государственного регулирования недропользования и льготирования налогов.

ПОСЛЕДСТВИЯ ОТКАЗА ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Отказ от реализации КНТП приведет к невозможности своевременного извлечения значительных остаточных запасов нефтегазовых залежей, снизится эффективность производственных процессов, возрастет число отказов и аварий при геологоразведке, обустройстве и эксплуатации месторождений. Будет упущена возможность достижения технологического лидерства в области ЦМ газового производства. Сократится прирост дополнительной добычи за счет реализации цифровых технологий. Кроме того, последствия затронут процессы:

- своевременного создания инструментального базиса и инновационного программного обеспечения для систем мониторинга, управления динамикой и кинематикой потоков к забоям добывающих скважин, что приведет к выборочной и неравномерной выработке запасов;
- дальнейшего роста удельных затрат на добычу с учетом ограничений, что приведет к упущенной выгоде эффективного развития;
- добычи УВ, объемы которой будут существенно меньше технологически возможных и проектных, что повлечет за собой снижение коэффициентов эксплуатации подземных и наземных сооружений, а также показателей добычи;
- резкого роста числа скважин, нуждающихся в капитальном и подземном ремонте, что приведет к упущенной возможности длительной эксплуатации месторождений и увеличению количества аварий на нефтегазовых промыслах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в нефтегазовых компаниях России интегрированные системы типа цифрового двойника нефтегазового оборудования не производятся. Также в промышленном масштабе не изготавливаются системы управления на основе диагностики режимов с применением высокочувствительных оптоволоконных сенсоров и интеллектуальных систем управления добычей.

Для разработки и создания производственной линейки оборудования унифицированного интеллектуального месторождения необходимо провести НИОКР на основе современных цифровых и инновационных технологий, включая проведение фундаментальных и прикладных научных исследований по этой тематике.

Разработка программно-аппаратных комплексов, методик, нор-

мативной основы для применения информационно-аналитических, цифровых и роботизированных систем обеспечит для месторождений на заключительной стадии эксплуатации:

- вовлечение в разработку значительных остаточных запасов УВ;
- модернизацию инфраструктуры городов и поселков, участвующих в нефтегазодобыче;
- эффективное продление срока службы инфраструктуры месторождений и предприятий;
- развитие регионов, находящихся на заключительной стадии эксплуатации месторождений нефти и газа;
- переобучение кадров на новые цифровые специальности;
- быстрый возврат небольших затрат на цифровую и технологическую модернизацию.

Выполнение КНТП полного инновационного цикла «Цифровая

и технологическая модернизация крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи» позволит заложить основы цифрового и технологического лидерства нефтегазовой отрасли России, создать фонд высокодебитных эксплуатационных скважин для обеспечения стабильного положения нашей страны на мировых рынках УВ, гарантировать ежегодный прирост запасов не менее 10 % и синхронизировать развитие ресурсной базы с развитием нефтеперерабатывающего и химического комплекса Сибири.

Успешная реализация программы обеспечит цифровую и технологическую модернизацию крупнейшего в мире Западно-Сибирского центра нефтегазодобычи, что позволит к 2030 г. увеличить объемы годовой добычи нефти и газа на 20–30 млн т и 20–25 млрд м³ соответственно. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2-2.1-1043-2016. Автоматизированный газовый промысел. Технические требования к технологическому оборудованию и объемам автоматизации при проектировании и обустройстве на принципах малолюдных технологий. М.: Газпром экспо, 2016. 208 с.
2. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Филиппова Д.С., Сафарова Е.А. Цифровой нефтегазовый комплекс России // Георесурсы. 2020. Т. 22, № 5. С. 32–35. DOI: 10.18599/grs.2020.SI.32-35
3. Богаткина Ю.Г., Еремин Н.А., Линдин В.Н. Информационно-экономический подход для оценки нефтегазовых инвестиционных проектов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 335–346.
4. Столяров В.Е., Еремин Н.А., Еремин А.Н., Басниева И.К. Цифровые газовые скважины: состояние и перспективы // Нефтепромысловое дело. 2018. № 7. С. 48–55. DOI: 10.30713/0207-2351-2018-7-48-55.
5. Еремин Н.А., Королев М.А., Степанян А.А., Столяров В.Е. Особенности цифровой трансформации активов при реализации инвестиционных нефтегазовых проектов // Газовая промышленность. 2019. № 4 (783). С. 108–119.
6. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е., Сафарова Е.А. Цифровые скважины и месторождения // Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем (SPRS-2020): сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2020. С. 26–38.
7. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е. Актуальные вопросы и индикаторы цифровой трансформации на заключительной стадии нефтегазодобычи промыслов // SOCAR Proceedings. 2021. Special Issue No. 2. P. 1–13.
8. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е. Регулирование и стандартизация для применения цифровых технологий в нефтегазовом комплексе // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2022. № 2 (583). С. 6–16. DOI: 10.33285/2782-604X-2022-2(583)-6-16.
9. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Ложников П.С. и др. Интеллектуальные инновационные технологии при строительстве скважин и эксплуатации нефтегазовых месторождений // Газовая промышленность. 2021. № 3 (813). С. 96–104.

REFERENCES

- (1) PJSC Gazprom. STO Gazprom 2-2.1-1043-2016 (company standard). Automated gas field. Technical requirements for process equipment and automation scope during design and development based on minimum-manned technology principles. Moscow: Gazprom expo; 2016. (In Russian)
- (2) Dmitrievskiy AN, Eremin NA, Filippova DS, Safarova EA. Digital oil and gas complex of Russia. *Georesources* [Georesursy]. 2020; 22(5): 32–35. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.SI.32-35>. (In Russian)
- (3) Bogatkina YuG, Eremin NA, Lyndin VN. Information and economical approach for evaluating oil and gas investment projects. *News of the Tula State University. Sciences of Earth* [Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle]. 2020; (3): 335–346. (In Russian)
- (4) Stolyarov VE, Eremin NA, Eremin AN, Basnieva IK. Digital gas wells: State and prospects. *Oilfield Engineering* [Neftepromyslovoe delo]. 2018; (7): 48–55. <https://doi.org/10.30713/0207-2351-2018-7-48-55>. (In Russian)
- (5) Eremin NA, Korolev MA, Stepanyan AA, Stolyarov VE. Features of digital transformation of assets when realizing investment oil and gas projects. *Gas Industry* [Gazovaya promyshlennost']. 2019; 783(4): 108–119. (In Russian)
- (6) Dmitrievskiy AN, Eremin NA, Stolyarov VE, Safarova EA. Digital wells and fields. In: *Gazprom VNIIGAZ LLC Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Actual Issues of Studies of Petroleum Reservoir Systems" (SPRS-2020), 23–24 September 2020, Razvilka, Moscow Oblast, Russia*. Moscow: Gazprom VNIIGAZ; 2020. p. 26–38. (In Russian)
- (7) Dmitrievskiy AN, Eremin NA, Stolyarov VE. Current issues and indicators of digital transformation of oil and gas production at the final stage of field operation. *SOCAR Proc.* 2021; (SI2): 1–13.
- (8) Dmitrievskiy AN, Eremin NA, Stolyarov VE. Regulation and standardization for digital technologies application in the oil and gas complex. *Automation and Informatization of the Fuel and Energy Complex* [Avtomatizatsiya i informatizatsiya TEK]. 2022; 583(2): 6–16. [https://doi.org/10.33285/2782-604X-2022-2\(583\)-6-16](https://doi.org/10.33285/2782-604X-2022-2(583)-6-16). (In Russian)
- (9) Dmitrievskiy AN, Eremin NA, Lozhnikov PS, Klinovenko SA, Stolyarov VE, Safarova EA. Intelligent innovations for wells construction and operation of oil and gas fields. *Gas Industry*. 2021; 813(3): 96–104. (In Russian)