



ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ОБВОДНЯЮЩЕГОСЯ
ПРОМЫСЛА

АКУСТИЧЕСКАЯ
СТИМУЛЯЦИЯ
СКВАЖИН

25 ЛЕТ **ССК**
НАДЕЖНОСТЬ В ПАРТНЕРСТВЕ!
КАЧЕСТВО В РАБОТЕ!
УВЕРЕННОСТЬ В БУДУЩЕМ!

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

Neftgaz.RU

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

1 [157] 2025

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ОТКАЗОВ УЭЦН
МЕТОДАМИ
МАШИННОГО
ОБУЧЕНИЯ



Входит в перечень ВАК (К1)

ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В ПРОЕКТЕ

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К БЕЗОПАСНОСТИ ТЭК

ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА ↘



ЦИФРОВАЯ БУРОВАЯ —
↙ НОВАЯ СТУПЕНЬ БЕЗОПАСНОСТИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ
И РОБОТЫ ↘



НЕ ВКЛЮЧАТЬ
РАБОТАЮТ ЛЮДИ

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР ↗



↑ ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ



ПромМашТест



АБС Электро

ЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ↙



↗ ПОЛИТИКА БЕЗОПАСНОСТИ



Safety.neftegaz.ru

РЕКЛАМА



ANT ENGINEERING

↙ БПЛА: ЗАЩИТА И УГРОЗА



ГАЗСТРОЙПРОМ
СТРОЙТРАНСНЕФТЕГАЗ

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ↙



↙ ЗАЩИТА ДАННЫХ



ТЕРРАЛИНК
ТЕХНОЛОЖИС

↑ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

kaspersky



↗ НОВОСТИ

СТРОЙТРАНСНЕФТЕГАЗ

20 ЛЕТ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

СПЕЦПРОЕКТ

Акционерное общество «СтройТрансНефтеГаз» (СТНГ) – одна из крупнейших и передовых строительных компаний России отмечает двадцатилетие. СТНГ участвовало во всех стратегически важных для нефтегазовой отрасли стройках нашего века. Высочайшая надежность работ, инновационность, постоянное развитие и бережный подход к людям – важнейшие слагаемые лидерства СТНГ.



20stng.neftegaz.ru

Развитие перспективных систем мониторинга для повышения надежности процесса капитального ремонта скважин



16

Математическая модель акустической стимуляции скважин для увеличения проницаемости горной породы



20

СОДЕРЖАНИЕ

Выбор оптимального способа эксплуатации обводняющегося газового промысла



26

Перспективы освоения нефтяного месторождения на шельфе Суринама



32

Эпохи НГК 6

РОССИЯ Главное

2025: надежды и ожидания 8

Новый порядок платежей за российский газ 10

События 12

Первой строчкой 14

ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

Развитие перспективных систем мониторинга для повышения надежности процесса капитального ремонта скважин 16

НЕФТЕСЕРВИС

Математическая модель акустической стимуляции скважин для увеличения проницаемости горной породы 20

НЕФТЕСЕРВИС

Выбор оптимального способа эксплуатации обводняющегося газового промысла 26

Сибирская Сервисная Компания снова признана лучшей в нефтесервисной отрасли 30

ДОБЫЧА

Перспективы освоения нефтяного месторождения на шельфе Суринама 32

Месторождения Карского моря: методика оценки эффективности освоения морских газовых и газоконденсатных месторождений 38

Закачка воздуха и внутрипластовое горение как способ увеличения добычи 44

Хронограф 49

Оптимизация работы установки стабилизации газового конденсата



50

Обзор опыта прогнозирования отказов УЭЦН методами машинного обучения



55

Рационализация логики пуска печи дожигания установки утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы



62

Погружные насосы для сжиженных газов: развитие подходов к разработке и производству оборудования для российских СПГ-заводов



64

ОБОРУДОВАНИЕ

Оптимизация работы установки стабилизации газового конденсата 50

Обзор опыта прогнозирования отказов УЭЦН методами машинного обучения 55

Рационализация логики пуска печи дожигания установки утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы 62

Погружные насосы для сжиженных газов: развитие подходов к разработке и производству оборудования для российских СПГ-заводов 64

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Расчет индекса чистой энергии искусственным интеллектом и интерпретация полученных данных 68

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Микровзрывная фрагментация капель на основе таллового масла 75

РЫНОК

Экономические потери в нефтегазовом комплексе России в связи с трансформацией международного энергетического рынка 86

СПГ в Бразилии: эпоха перемен 90

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ

Приоритетные направления разработки и практической реализации методологии государственного регулирования нефтегазового комплекса 92

Россия в заголовках 101

Новости науки 102

Нефтегаз Life 104

Классификатор 106

Цитаты 112

525 лет назад

В 1500 году в Польше впервые для освещения улиц стали использовать нефть, которая поступала из района Карпат.

202 года назад

В 1823 году в Моздоке открылся нефтеперерабатывающий завод, на котором использовалась нефть с близлежащего Вознесенского нефтяного месторождения.

190 лет назад

В 1835 году утвержден устав первой российской акционерной газовой компании «Общество для освещения Санкт-Петербурга газом».

177 лет назад

В 1848 году на Апшеронском полуострове пробурена первая в мире нефтяная скважина современного типа.

176 лет назад

В 1849 году канадский геолог Абрахам Геснер впервые получил керосин.

168 лет назад

В 1857 году Василий Кокорев построил в Сураханах нефтеперегонный завод мощностью 100 тыс. пудов керосина в год.

162 года назад

В 1863 году во дворе Малого театра со стороны Неглинной улицы был построен газовый завод, продукция которого предназначалась для освещения Большого и Малого Императорских театров.

148 лет назад

В 1877 году Россия впервые в мире начинает использовать танкеры для транспортировки нефти. В США в то же время построена первая железнодорожная цистерна для перевозки нефти.

84 года назад

В 1941 году в 18 км от Саратова обнаружены богатейшие по тем временам запасы природного газа.

59 лет назад

В 1966 году с месторождения Уренгой в Москву и другие города страны начинает поступать природный газ.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Анатолий Чижевский
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифинова
Анастасия Гончаренко
Анастасия Хасанова
Анна Шевченко

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Ампилов Юрий Петрович
д.т.н., профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова

Алюнов Александр Николаевич
к.т.н., ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

Бажин Владимир Юрьевич
д.т.н., эксперт РАН, Санкт-Петербургский горный университет

Гриценко Александр Иванович
д.т.н., профессор, академик РАН

Гусев Юрий Павлович
к.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО НИУ МЭИ

Данилов-Данильян Виктор Иванович
д.э.н., профессор, член-корреспондент РАН, Институт водных проблем РАН

Двойников Михаил Владимирович
д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет

Еремин Николай Александрович
д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Илюхин Андрей Владимирович
д.т.н., профессор, Советник РААСН, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Каневская Регина Дмитриевна
действительный член РАН, д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Макаров Алексей Александрович
д.э.н., профессор, академик РАН, Институт энергетических исследований РАН

Мастепанов Алексей Михайлович
д.э.н., профессор, академик РАН, Институт энергетической стратегии

Панкратов Дмитрий Леонидович
д.т.н., профессор, Набережночелнинский институт

Половинкин Валерий Николаевич
научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр», д.т.н., профессор, эксперт РАН

Салыгин Валерий Иванович
д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор МИЭП МГИМО МИД РФ

Третьяк Александр Яковлевич
д.т.н., профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет, академик РАН



Издательство:
ООО Информационное агентство
Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Валентина Горбунова
Анна Егорова
Марина Шевченко
Галина Зуева
Евгений Короленко

account@neftgaz.ru
Тел.: +7 (495) 778-41-01

Деловой журнал Neftegaz.RU зарегистрирован федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия в 2007 году, свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-46285

Перепечатка материалов журнала Neftegaz.RU невозможна без письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях, а также за политические, технологические, экономические и правовые прогнозы, представленные аналитиками. Ответственность за инвестиционные решения, принятые после прочтения журнала, несет инвестор.

Отпечатано в типографии «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж
8000 экземпляров

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

Отдел по работе с клиентами
Екатерина Данильчук

Адрес редакции:
123001, г. Москва, Благовещенский пер., д. 3, с.1
Тел.: +7 (495) 778-41-01
www.neftgaz.ru
e-mail: info@neftgaz.ru
Подписной индекс Урал Пресс 013265



ПРЕЖНЕЕ НАЗВАНИЕ «BEIJING AEROSPACE PETROCHEMICAL TECHNOLOGY AND EQUIPMENT ENGINEERING CORPORATION LIMITED»



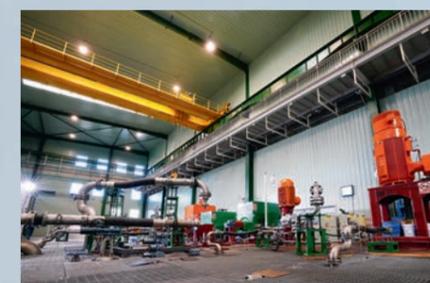
Высокоскоростной центробежный насос со встроенным редуктором (API 610 OH6)



Вертикальный насос (OH6)



Цех



Испытательный стенд



Сервис на площадке Сибур

Насосные агрегаты • Запасные части • Сервис

- ▶ **Расход** 1~360 м³/ч, напор: 80~3600 м
- ▶ **Мощность двигателя** 5,5~2000 кВт
- ▶ **Температура** -130~+340 °C
- ▶ **Область применения:** нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая отрасли
- ▶ **Типичное применение:** этилен, пропилен, ПЭ, ПП, ТФК и др.
- ▶ **ISO Сертификаты:** ISO9001, ISO14001, OHSAS 18001
EAC Сертификаты: TP TC 010/2011, TP TC 012/2011, TP TC 020/2011
- ▶ **Квалифицированный поставщик:** BASF, BP, CTCL, Daelim, Enter, Fluor, Foster Wheeler, GS, Hyundai, Saipem, Samsung, Tecnimont, Toyo
- ▶ **Насосы применялись** в процессах, лицензированных Invista, BP, Univation, Technip, UOP, Axens, Fluor, Siemens и Johnson Matthey
- ▶ **Конечные потребители в СНГ:** ООО «Амурский газохимический комплекс» (Сибур), Иркутская нефтяная компания, АО «ПОЛИЭФ» (Сибур), Руссоко и ПКОП Шымкентский НПЗ

Штаб-квартира г. Пекин, Китай
Контактное лицо: Лю Сяо
Тел: +86-10-87094356, 87094328
+8617319371970
E-mail: liux@calt11.cn, burw@calt11.cn

Авторизованный дилер
ООО «Юникс Инжиниринг»
Тел/Факс: +7(495) 648-62-78
E-mail: office@unix-eng.ru

В 2025 году мощность МГП
Сила Сибири-1 увеличится
до проектных

38 млрд м³
газа в год

Глубина переработки
нефти на Московском НПЗ
достигнет

99 %

Инвестпрограмма
Газпрома в 2025 году
снизится более чем

на **7** %

Профицит предложения
на рынке нефти может
составить

1,4 млн барр.
в сутки

2025: НАДЕЖДЫ И ОЖИДАНИЯ

КАЖДЫЙ НОВЫЙ ГОД НАЧИНАЕТСЯ С ОЖИДАНИЙ И НАДЕЖД. ОЖИДАНИЯ 2025 ГОДА СВЯЗАНЫ С ЗАПУСКАМИ ПРОИЗВОДСТВ, ВЫХОДОМ НА ПРОЕКТНЫЕ МОЩНОСТИ, ВВОДОМ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. А НАДЕЖДЫ – С ВЫСОКОЙ (ИЛИ ХОТЯ БЫ НЕ С ОБИДНОЙ) ЦЕНОЙ НА НЕФТЬ, ОСЛАБЛЕНИЕМ (ИЛИ ХОТЯ БЫ НЕ УЖЕСТОЧЕНИЕМ) САНКЦИЙ, УВЕЛИЧЕНИЕМ (ИЛИ ХОТЯ БЫ ПОДДЕРЖАНИЕМ НА ПРЕЖНЕМ УРОВНЕ) ИНВЕСТИЦИЙ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Анна Павлихина

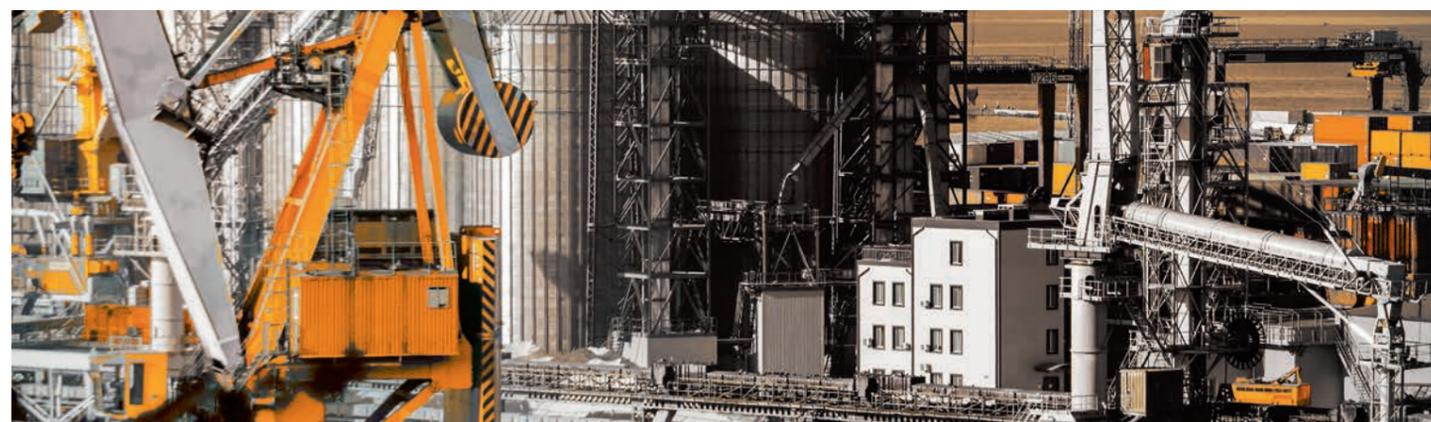
Нефтегазовая промышленность нашей страны переживает не самые простые времена. Внешний прессинг, технологическая изоляция, волатильность рынка – факторы, не способствующие развитию отрасли. Несмотря на это, нефтянка живет и развивается, а в 2025 году на экономической карте должны появиться новые объекты.

Новые мощности

Уже в первом полугодии Иркутская нефтяная компания планирует запустить первый в Восточной Сибири завод по производству полимеров. В Нижнекамске СИБУР готовит к сдаче первый в стране завод по выпуску гексана, продукцию которого будут использовать в качестве сырья для производства высокомаржинальных марок полиэтилена, как и этилен, выпускаемый на олефиновом комплексе компании – ЭП-600. Его строительство СИБУР завершил еще в 2024 году, а в 2025 г. планирует вывести на проектную мощность.

Также на проектную мощность должен выйти комплекс по переработке диоксида серы на Надеждинском металлургическом заводе Норникеля. Не будет неожиданностью и наращивание объемов поставок газа по МГП Сила Сибири-1 до проектных 38 млрд м³ в год.

В наступившем году завершит свою полномасштабную модернизацию Московский НПЗ, глубина переработки которого достигнет 99%. На Славянском нефтеперерабатывающем заводе планируют ввести в эксплуатацию комбинированную установку



высокооктановых бензинов, включающую секции гидроочистки, каталитического риформинга и изомеризации, что позволит заводу производить более 1 млн т бензина в год.

На конец года намечен запуск комплекса производства автобензинов и ароматических углеводородов мощностью 1,52 млн т в год на Ильском НПЗ, с вводом в эксплуатацию которого будут производить бензин стандарта Евро-5, продукцию нефтехимии и СУГ. Инвестпроект по строительству угольного морского терминала и Тихоокеанской железной дороги реализует компания Порт Эльга. Эта инфраструктура увеличит поставки продукции с Эльгинского угольного месторождения на мировые рынки. Первые этапы порта и железной дороги запланированы для ввода в эксплуатацию в первом квартале.

В 2025 году должны появиться новые заводы: в Челябинской области – малотоннажное производство СПГ, в Тюмени – завод по выпуску нефтегазового оборудования для наклонно-направленного бурения, включая роторно-управляемые системы, буровые долота и системы закачивания скважин. Также планируется запустить в эксплуатацию завод полного цикла по выпуску литий-ионных аккумуляторов в Татарстане и производство диоксида титана в Томской области.

На 2025 год компания Ростех анонсировала запуск серийного производства МС-21, а Москвич – серийное производство электромобилей Атом.

Все меньше сомнений в появлении двух мусоросжигающих заводов, которых ждут уже три года, ведь они были лично обещаны первым вице-премьером президенту.

Новые месторождения

В наступившем году продолжит пополняться база запасов полезных ископаемых, запланированы к вводу в эксплуатацию новые месторождения. В частности, намечена разработка свинцово-цинкового месторождения «Сардана» в Усть-Майском районе и медно-вольфрамового месторождения «Агылкинское». На Таймыре будет введено в эксплуатацию угольное месторождение, а на Чукотке начнется геологоразведка шестнадцати участков недр. В целом в рамках федеральной программ «Геология: возрождение легенды» правительство планирует выделить в 2025 году 9 млрд рублей. Предположительно эти средства пойдут на изучение недр Якутии, Дальнего Востока и Сибири. Глава Минприроды заявил, что ведомство готово запустить программы геологического поиска с 1 января.

С 1 января

С первого дня нового года вводятся и другие новшества. Начинает действовать запрет на майнинг криптовалюты в энергодефицитных регионах в сезон повышенного спроса на электроэнергию, который продлится до 2031 г. Дальний Восток, Республика Коми и Архангельская область включены в ценовые зоны оптового рынка электроэнергии. С 1 января ФАС утвердила повышение тарифов Транснефти на прокачку нефти на 5,8%. А еще с 1 января прекратился транзит газа через Украину, что, безусловно, скажется на рынке в краткосрочной и долгосрочной перспективе. В том числе затронет и рынок СПГ, спрос на который должен вырасти в связи с прекращением трубопроводных поставок.

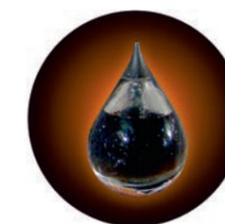
Главный российский производитель сжиженного природного газа НОВАТЭК, по некоторым оценкам уже в январе может запустить вторую производственную линию «Арктик СПГ-2». У компании есть шанс получить два новых танкера ледового класса. Другие эксперты полагают, что вопрос с выходом на полную мощность может быть отложен на неопределенное время.

Инвестпрограммы

На неопределенное время, вероятно, будут отложены и некоторые инвестиционные проекты. Так, инвестпрограмма Газпрома в 2025 г. снизится более чем на 7% по сравнению с 2024 годом. Также РЖД в 2025 г. может на 36,7% сократить инвестиции, в частности в проекты Восточного полигона – БАМ и Транссиб, в 4,8 раза. А вот Россети, напротив, заявили о рекордной инвестпрограмме в 650 млрд руб., но при этом попросили у правительства средства на поддержание регионов и предупредили, что в некоторых областях электроснабжение будет ухудшаться, источники финансирования позволяют в 2025 г. отработать лишь 25% дефектов электросетевого оборудования, из-за системного недофинансирования накоплен серьезный износ фондов. Найдутся ли средства на поддержание региональной инфраструктуры во многом зависит от цены на нефть в 2025 году.

Цена на нефть

В 2025 году МЭА прогнозирует превышение предложения спроса над предложением. Пока действует соглашение ОПЕК+, рынок более или менее сбалансирован, но как долго смогут страны картеля сдерживать добычу и будет ли в этом смысл, если страны, не входящие в организацию, будут наращивать объемы производства? МЭА ожидает профицита предложения в 950 тыс. барр. в сутки, а в случае восстановления добычи странами ОПЕК, эта цифра вырастет до 1,4 млн барр. в сутки, что может стать основным вызовом для нефтегазового комплекса и экономики России в 2025 году. ●



НОВЫЙ ПОРЯДОК ПЛАТЕЖЕЙ ЗА РОССИЙСКИЙ ГАЗ

Елена Алифирова

В порядок исполнения иностранными покупателями обязательств перед российскими поставщиками природного газа внесены изменения. Указом от 5 декабря 2024 г. № 1033 схема «газ за рубли» замораживается, расчеты не производятся впредь до отмены ограничительных мер, введенных применительно к уполномоченному банку иностранными государствами.

После того как летом прошлого года США ввели санкции против Мосбиржи, потребовался перенос продажи валюты на внебиржевой рынок. 21 ноября 2024 г. США ввели санкции против Газпромбанка, что создало проблемы для покупателей российского трубопроводного газа в ЕС и Турции.

Согласно новому указу, разрешается зачисление уполномоченным банком средств в рублях, поступающих от третьих лиц, в целях оплаты иностранным покупателем поставки природного газа, предусматривается механизм полного или частичного зачета встречных требований поставщика к покупателю по инициативе российского поставщика, допускается участие организаций, осуществляющих принудительное взыскание задолженности иностранных покупателей, а также от лиц, исполняющих обязательства по договору эскроу или аккредитиву. При этом при взыскании задолженности расчеты могут производиться в рублях, валюте контракта или путем зачета встречных требований.

Газпромбанк продолжает оставаться единственным уполномоченным банком, через который осуществляются расчеты за поставку природного газа иностранными покупателями из недружественных стран, банк больше не осуществляет содействие иностранным покупателям в конвертации иностранной валюты в рубли в целях расчетов за природный газ, обязательство по оплате поставки газа считается исполненным с момента зачисления средств в рублях на открытый российский поставщиком в Газпромбанке рублевый счет. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

Страны G7 разрабатывают меры, призванные снизить потолок цен на транспортируемую морем российскую нефть и ужесточить условия ее продажи. Как это скажется на нефтяном рынке и его игроках?

Что ждать нефтяному рынку от новых решений G7 в отношении российской нефти?

20%
Новые санкции спровоцируют рост цен на нефть

23%
На России это никак не скажется, она давно выстроила альтернативную систему морских перевозок нефти

17%
Запрет на оказание услуг по транспортировке и страхованию российской нефти увеличит ее стоимость для покупателей из Индии и Китая

18%
Россия будет меньше зарабатывать на продаже углеводородов

22%
Решения G7 не окажут влияния на рынок, за 2 года потолок цен ни разу не был скорректирован, что говорит о несостоятельности этого механизма

2024 год был богат на события. Все они в той или иной степени оказали влияние на дальнейший ход развития страны. Мы выделили несколько наиболее значимых и спросили читателей Neftegaz.RU, какое событие прошедшего года стало главным достижением

Какое достижение можно считать главным в 2024 году для топливно-энергетического комплекса?

15%
Увеличение объемов переработки сырья на российских НПЗ

16%
Запуск этиленового комплекса в Татарстане

14%
Увеличение нефтегазовых доходов на 25,8%

12%
Рост добычи газа на 10%

15%
Увеличение объемов экспорта газа

18%
Открытие Илгинского ГКМ с запасами 135,4 млрд м³

10%
Увеличение доли российского энергетического оборудования до 72%



Тендерный КОНСАЛТИНГ

ПОДДЕРЖКА УЧАСТНИКОВ ЗАКУПОК НА ВСЕХ ЭТАПАХ (ПО ФЗ №44 И ПО ФЗ №223)

Аккредитация на торговых площадках

Подбор тендеров по заданным параметрам

Юридический анализ тендерной документации

Подготовка тендерной заявки

Услуги специализированной организации

Оспаривание решений ФАС о внесении в «черный список поставщиков»

Юридическое сопровождение заключения и исполнения государственного контракта

Оформление банковских гарантий

Действуя строго в рамках законодательства, мы обеспечиваем вам честную победу в нужном тендере

+7 495 987 18 50 (многоканальный)

Москва, ул. Крымский вал, д.3, стр.2, офис №7 (м. Октябрьская)

Обвал рынка акций
Выборы президента
Газовые войны
Запуск нового производства
Северный поток
Смещение капиталов
Новый глава Роснефти
Цены на нефть

Второй век ВСТО
Богучанская ТЭС запущена
Продажа квот
Цены на газ
Южный поток
Дочли руки до Арктики
Северный поток достроили

КОС модернизировал производство полиэтилена

Казаньоргсинтез (КОС, входит в СИБУР) завершил масштабный инвестпроект по модернизации производства полиэтилена. В частности, реконструирована одна из трех линий по производству ПВП (реактор В), проектная мощность линии выросла со 100 до 220 тыс. т в год, инвестиции в проект составили 8,3 млрд руб. Проект был начат в 2019 г., когда по лицензии Univation Technologies (США) было законтрактовано оборудование из Европы и Японии, но после февраля 2022 г. лицензиар и вендоры вышли из проекта, их заменили китайские производители, лицензиаром стал КОС, генпроектировщиком выступил казанский институт Союзхимпромпроект. Реакторы производства этилена А и С были реконструированы в 2004–2006 гг. В результате суммарная проектная мощность выросла на 22,2% и составила 660 тыс. т полиэтилена в год.

Первый экспортный

В порту Усть-Луга Ленинградской области введена в эксплуатацию первая очередь специализированного терминала

Equinor UK Ltd и Shell UK Limited объединят нефтегазовые активы, расположенные в британском секторе Северного моря. СП необходимо для поддержания внутренней добычи нефти и природного газа. Добыча в Северном море сократилась до 1,2 млн бнэ в сутки. Ожидается, что в 2025 г. объем добычи СП составит 140 тыс. бнэ в сутки

Газпром направил в Италию партию СПГ с комплекса по сжижению природного газа Портовая. Танкер-газовоз Cool Rover пришвартовался в итальянском порту Ливорно, около FSRU Toscana. Это первая прямая поставка СПГ из России в Италию

Порт Фавор по перевалке аммиака. Терминал позволяет принимать грузы аммиака, доставляемого в автоцистернах, и переваливать его на суда для дальнейшей отправки на экспорт. Технология перевалки – это полностью закрытая линия. Проект реализуется в рамках меморандума между ЕвроХимом, Минпромторгом РФ и Ленобластью. Документ предусматривал создание логистического хаба по перевалке сухих минеральных удобрений в морском порту Усть-Луга, но после 2022 г. в проект были добавлены наливные мощности для аммиака, а мощности по отгрузке сухих удобрений – удвоены. Терминал сможет обрабатывать 2,6 тыс. т аммиака в сутки. С мая 2025 г. планируется начать прием грузов железнодорожным транспортом, что позволит увеличить мощность в 1,5 раза. В 2025 г. планируется обеспечить экспорт 1 млн т аммиака, в 2026 г. –

1,5 млн т. Кроме того, ведется проектирование аммиакопровода из Кингисеппского района.

НДПИ обнулили

С 1 января 2028 г. обнуляется налог на добычу полезных ископаемых – природного газа и газового конденсата из залежей ачимовских и юрских отложений на полуострове Ямал. Ранее сообщалось, что нулевая ставка НДПИ на ТриЗы ямальского природного газа и газового конденсата будет введена при условии их использования исключительно для производства СПГ. Принятие закона предполагает, что налог обнулится с 2028 г. и до момента накопления объема в 130 млрд м³ газа и 15 млн т конденсата по всем участкам недр, но не позднее конца 2037 г. В настоящее время на Ямале работает единственный завод по сжижению природного газа – «Ямал СПГ». Предприятие принадлежит компании НОВАТЭК, которая активно добывает газ из юрских отложений Южно-Тамбейского месторождения. Также с 2025 до 2029 гг. отменяется налоговый вычет по НДПИ для газоконденсата, который используется в переработке с получением ШФЛУ, налоговая ставка на прибыль для месторождения им. В. Филановского увеличивается с 34 до 40% с 1 января 2025 г. сроком на 5 лет.

Первый центр пилотирования технологий

На базе тобольского кластера производств СИБУРа открыт первый в России и не имеющий аналогов в мире Центр пилотирования технологий. Центр должен стать важным звеном в процессе масштабирования новых продуктов от лабораторного этапа до промышленного производства. Его запуск позволит до десяти раз ускорить разработку собственных катализаторов и новых марок базовых полимеров. Инфраструктура сочетает 12 технологий получения полипропилена и полиэтилена, что охватывает 90% технологий, представленных в России. До сих пор после испытания в лабораториях все разработки поступали сразу на промышленные мощности, тестирование приводило к учащению перенастройки режимов и производственных переходов. Запуск multifunctionального центра позволяет переключить на него все циклы испытаний. Он будет масштабировать катализаторы, создавать новые продукты и технологии производства базовых полимеров и готовые технологические и инженерные решения. Проектная мощность – до 300 т в год, возможность

Обязательная маркировка моторных масел начнется с 1 сентября 2025 г. Правительство РФ утвердило сроки введения обязательной маркировки в системе «Честный знак» в отношении ряда новых товаров, включая смазочные материалы и специальные автомобильные жидкости, в т.ч. моторные масла

Британская BP plc и инвестиционная компания XRG (подразделение ADNOC) завершили создание совместного предприятия Arcius Energy, которое будет заниматься разработкой газовых активов в Египте. BP принадлежит 51% акций, XRG – 49%. Компания сосредоточится на добыче природного газа для удовлетворения растущего регионального спроса

ежегодно испытывать не менее 5 катализаторов и тестировать запуск 10 новых марок полимеров.

Крупнейшее месторождение Колумбии

PIB-COL (дочка Petrobras) и колумбийская Escopetrol SA подтвердили открытие крупнейшего в истории Колумбии месторождения природного газа – Sirius-2. В августе 2022 г. Petrobras обнаружила газовую залежь на морском блоке Taugona в Guajira Offshore Basin, в 32 км от побережья, глубина воды на участке недр составляет 830 м. Результаты бурения скважины Sirius-2 подтвердили наличие 17 млрд м³ природного газа – этого достаточно, чтобы потенциально удвоить существующие запасы страны. Консорциум, куда входит PIB-COL, приступит к сбору дополнительной информации для

подтверждения коммерческой целесообразности разработки месторождения. В частности, планируется пробурить 4 эксплуатационные скважины, которые будут обеспечивать добычу в объеме 13 млн м³ в сутки на протяжении 10 лет.

Геомагнитная обсерватория

За полтора года совместной работы Газпром и Российская академия наук создали геомагнитную обсерваторию. Функция этого научного учреждения заключается в бесперебойном регистрировании и измерении магнитного поля Земли. Возможность следить за этим показателем, а также за вращением Земли создает наводки для процессов бурения. Полученные с ее помощью данные будут использоваться в промышленном процессе, таким образом будут заменены услуги, ранее предоставляемые зарубежной компанией с Аляски. Новое учреждение располагается на полуострове Ямал и уже успешно работает. Газпром намерен создавать инновации, направленные на изменение географии добычной базы, ее геологического строения и многокомпонентности. ●

До **1708**

единиц сократилось количество нефтегазовых буровых установок в мире в ноябре 2024 г.



Добычу угля в Кемеровской области сократили

На **8%**

в январе – ноябре 2024 г.

До **2,25**

млн барр./сутки снизился морской экспорт нефтепродуктов из России



На **78%**

заполнены ПХГ в ЕС



650 млрд руб.

составила инвестпрограмма Россетей в 2024 г.



На **45%**

вырос экспорт СУГ из России в страны Азии за 9 месяцев 2024 г.



На **16%**

выросли продажи топлива на СПбМТСБ в 2024 г.



На **8%**, до **4,016**

млн тонн, увеличила импорт СПГ Южная Корея в ноябре 2024 г.



На **12,2%**

Китай увеличил объем импорта нефти в ноябре 2024 г. по сравнению с октябрём



На **11%**,

до **28,9** млрд м³,

выросли поставки российского трубопроводного газа в Европу по итогам 11 месяцев 2024 г.



На **31,9%**,

до **1,45** трлн руб., снизилась прибыль добывающих компаний ХМАО-Югры за год



В **1,5** раза

снизились нефтегазовые доходы бюджета РФ в ноябре 2024 г. к октябрю



82,5 млн долл.

инвестировано в геологоразведку Казахстана в 2024 г.



134 тыс. т

груза доставлено в летнюю навигацию на Новопортовское месторождение



25,6

тыс. т грузов перевезли субсидируемыми рейсами по Севморпути в 2024 г.



1391407

барр./сутки составил объем добычи нефти и конденсата в Ливии, газа – **194 914** бнз/сутки



На **22%**

снизили добычу нефти независимые нефтяные компании с 2022 г.



10 млрд м³

природного газа добыли на Киринском месторождении



На **5%**

снизила добычу нефти Русснефть в 2024 г.



920 млн т

составит мировой спрос на СПГ к 2040 г.



РАЗВИТИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СКВАЖИН

НАДЕЖНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ ЯВЛЯЕТСЯ ЗАЛОГОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ВСЕЙ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: С ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ НАЧИНАЕТСЯ ЕДИНАЯ СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РОССИИ. ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПХГ – МАКСИМАЛЬНАЯ СУТОЧНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, КОТОРАЯ НАПРЯМУЮ ЗАВИСИТ ОТ СОСТОЯНИЯ ФОНДА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН. ВАЖНУЮ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИГРАЕТ ПОДДЕРЖАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ФОНДА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩИХ И КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТОВ. ВМЕСТЕ С ТЕМ ПРОЦЕСС КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА СКВАЖИН (КРС) СВЯЗАН С ВОЗРАСТАЮЩИМИ, ОТНОСИТЕЛЬНО ПОВСЕДНЕВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РИСКАМИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕШТАТНЫХ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ. В СТАТЬЕ ОПИСАНА РОЛЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА В СОКРАЩЕНИИ ВРЕМЕНИ РЕАГИРОВАНИЯ НА НЕШТАТНЫЕ И АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ, А ТАКЖЕ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, СРЕДСТВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ, ПОКРЫТИЯ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ – ЗАДЕЛ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА, ОБЛАДАЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАГИРОВАНИЕМ НА НЕШТАТНЫЕ СИТУАЦИИ

THE RELIABILITY AND OPERABILITY OF A GAS WELL IS THE KEY TO HIGHLY EFFICIENT OPERATION OF THE ENTIRE GAS INDUSTRY: A UNIFIED RUSSIAN GAS SUPPLY SYSTEM BEGINS WITH A GAS WELL. ONE OF THE MAIN INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF THE UGS OPERATION IS THE MAXIMUM DAILY PRODUCTIVITY, WHICH DIRECTLY DEPENDS ON THE STATE OF THE PRODUCTION WELLS FUND. AN IMPORTANT ROLE IN ENSURING PRODUCTIVITY IS PLAYED BY MAINTAINING THE OPTIMAL CONDITION OF THE FUND OF PRODUCTION WELLS OF UGS THROUGH ONGOING AND MAJOR REPAIRS. AT THE SAME TIME, THE PROCESS OF WELL OVERHAUL IS ASSOCIATED WITH INCREASING RISKS OF ABNORMAL AND EMERGENCY SITUATIONS IN RELATION TO DAILY OPERATION. THE ARTICLE DESCRIBES THE ROLE OF ADVANCED MONITORING SYSTEMS, BOTH IN REDUCING THE RESPONSE TIME TO EMERGENCY AND EMERGENCY SITUATIONS, AS WELL AS PREDICTING THEIR OCCURRENCE. THE CURRENT STATE OF SPECIAL EQUIPMENT, DISPATCHING FACILITIES, AND MOBILE NETWORK COVERAGE IS A FOUNDATION FOR FURTHER DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MONITORING SYSTEMS WITH THE ABILITY TO REMOTELY CONTROL THE RESPONSE TO EMERGENCY SITUATIONS

Ключевые слова: капитальный ремонт скважин, мониторинг, реагирование, нештатная ситуация, надежность.

Захаров Денис Юрьевич
главный специалист
Управления геологии
ООО «Газпром ПХГ», к.т.н.

Климова Ирина Викторовна
доцент Высшей школы
техносферной безопасности
Санкт-Петербургского
политехнического университета
Петра Великого, к.т.н.

Пискунов Александр Валентинович
заместитель начальника отдела
Управления геологии
ООО «Газпром ПХГ»

Позднухов Сергей Владимирович
заместитель начальника
Управления геологии
ООО «Газпром ПХГ»

Организация, которая эксплуатирует скважину, должна обеспечить работу систем оповещения и видеонаблюдения, связи и поддержки в случае нештатных и аварийных ситуаций.

Совершенствование систем мониторинга работ повышенной опасности при капитальном ремонте газовых скважин представляет собой перспективное направление, способное значительно улучшить процессы контроля и анализа в ходе выполнения работ, а также систему реагирования на нештатные ситуации в целом. Использование современных технологий мониторинга и анализа данных позволяет повысить эффективность и качество работ, минимизировать риски.

Средства обеспечения мониторинга, как и сам процесс, можно разбить на две группы: текущий и прогнозный.

Развитие процессов текущего мониторинга связано с развитием систем видеонаблюдения, их новых видов и стандартов связи. Развитие технологий и систем связи оказывает большое влияние на все сферы жизни, это касается и обеспечения безопасности опасных производственных объектов.

Данное направление обуславливает появление современных государственных и корпоративных требований к системам наблюдения и видеофиксации при работе на опасных производственных объектах.

Прогнозный мониторинг характеризуется системами анализа данных о человеко-машинной системе в производственном процессе, способными на основе актуальных данных строить прогнозы и предупреждать о возможных негативных событиях и предпосылках к их возникновению.

УДК 005.321:519.248

РИСУНОК 1. Распределение этапов работы в общем времени реагирования



Текущий мониторинг

Основная проблематика систем текущего мониторинга КРС, в частности их составляющего элемента – системы реагирования на нештатные и аварийные ситуации, заключается в том, что, несмотря на наличие множества технических средств, они не были объединены в единую технологическую сеть.

При этом нет четких требований к исполнению и характеристикам этих систем:

- качеству передачи изображения;
- скорости передачи данных;
- информационной безопасности систем передачи данных;
- местам установки дополнительных камер;
- средствам и видам связи.

Чтобы оценить эффективность систем текущего мониторинга, необходимо оценить время, в течение которого аварийная ситуация может развиваться без вмешательства.

Время «свободного развития» включает время обнаружения (≈ 43% для площадных объектов), время сообщения (≈ 14%), время следования (≈ 29%), время боевого развертывания (≈ 14%).

Вместе с тем для процесса реагирования на скважинах, как удаленных объектах, методом экспертных оценок были получены следующие значения (рис. 1).

Как видно из представленных (рис. 1) данных, при КРС на 7% увеличивается время сообщения, что обусловлено отсутствием стационарных систем связи и сложностями с покрытием мобильной сети. Также на 23%

увеличивается время следования, что обусловлено удаленностью скважин, и на 4% – время боевого развертывания в виду отсутствия стационарных систем пожаротушения.

В таких условиях необходимость постоянного мониторинга и диспетчеризации процессов капитального ремонта приобретает приоритетный характер, а из-за сложностей с определением места дислокации привлекаемых сил и средств, проблем с боевым развертыванием на удаленной локации и ненадежных технологий связи развитие систем мониторинга, в частности с обратной связью, является критически важной задачей в повышении безопасности процесса КРС.

Все установки для капитального ремонта скважин ООО «Газпром ПХГ» оснащены системами контроля параметров,

видеонаблюдения и архивации данных в соответствии с законодательством [1]. Установлены не менее двух видеочкамер для фиксации работ на устье скважины и общего плана производства работ.

В Саратовском управлении аварийно-восстановительных работ и капитального ремонта скважин внедрено решение, при котором диспетчерская служба в режиме реального времени получает видеосигнал и данные о работе установок и бригад.

Авторы провели исследования эффективности действий при нештатных и аварийных ситуациях на площадных опасных производственных объектах. Эти исследования показали, что коллективные решения с выделением роли лидера на 12% эффективнее одиночных (возрастание показателя правильности выполнения в единицу времени – ППВ (τ) (рис. 2, 3) [2].

Проведены аналогичные исследования на скважинах ООО «Газпром ПХГ». Предварительные результаты показывают эффективность более 80%. Эти результаты также указывают на необходимость развития современных технологий и средств связи для обеспечения безопасности.

Для реагирования на нештатные и аварийные ситуации необходимо разрабатывать и внедрять новые комплексные системы мониторинга.

РИСУНОК 2. Сравнительная диаграмма среднего индивидуального ППВ по группе и ППВ при работе управленческого персонала с выделением роли лидера



Они должны обеспечивать не только трансляцию и архивацию данных, но и видео-конференц-связь с возможностью выдачи команд на удаленный объект, оповещения и координации всех задействованных сил и средств. Важно предусмотреть возможность не только стационарного диспетчерского контроля, но и удаленного мониторинга. Также необходимо реализовать систему принятия коллективных решений с выделением роли лидера посредством программных средств.

Существенным стимулом для развития таких систем может стать совершенствование законодательства в части требований по использованию систем видеомониторинга для реагирования на нештатные и аварийные ситуации. Важно закрепить эти законодательные нормы не просто декларативно, а максимально конкретно описать технические требования и возможности их реализации эксплуатирующими организациями.

Прогнозный мониторинг

Системы прогнозного мониторинга включают в себя методические и программные средства по накоплению и анализу данных о состоянии человеко-машинных систем.

Системы прогнозного мониторинга человеко-машинных систем логически можно разбить на два подвида: осуществляющие прогноз на основе мониторинга актуального состояния человека и осуществляющие прогноз на основе мониторинга актуального состояния технической системы.

РИСУНОК 4. Пример 3D-модели для рабочего персонала бригад КРС ООО «Газпром ПХГ» по параметру актуального функционального состояния «Физическое утомление»

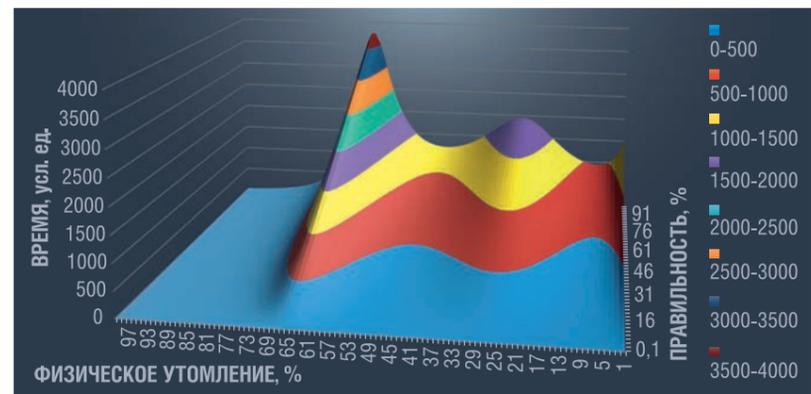


РИСУНОК 3. Сравнительная диаграмма среднего индивидуального ППВ по группе и ППВ при работе бригад КРС с выделением роли лидера



Системы мониторинга человека в человеко-машинной системе можно охарактеризовать применением методики определения влияния актуального функционального состояния человека на принятие решений в аварийных ситуациях. На основе валидизированных тестов выявляется актуальное функциональное состояние человека, после чего ему предлагается выполнить задание по реагированию. Оценивается время реагирования и правильность выполнения задания, результаты сравниваются со среднестатистической моделью, построенной по данному объекту. По итогам сравнения можно прогнозировать, насколько грамотно и быстро персоналотреагирует на аварийную ситуацию в текущем функциональном состоянии.

На рис. 4 приведен пример модели, построенной по результатам исследования бригад КРС ООО «Газпром ПХГ». Следует пояснить, что значения свыше 75%

физического утомления на сегодняшний день мало изучены ввиду редкости крайних состояний у персонала, поэтому пока их можно считать нерелевантными.

На практике, например, использование методики позволяет оценить эффективность применения новой отечественной техники для капитального ремонта скважин (рис. 5, 6). Исследования показали, что как улучшение функционального состояния персонала при работе на новом оборудовании, так и при приведенных показателях функционального состояния имеет место повышение надежности человека в человеко-машинной системе.

В качестве примера системы прогнозного мониторинга скважинного фонда можно привести систему контроля целостности скважин и программный комплекс «Барьер» ООО «Сахалинская энергия» [3]. Система обеспечивает планирование и выполнение ТО, контролирует состояние скважин, осуществляет мониторинг давлений в затрубных и межколонных пространствах, а также информирует о любых отклонениях от заданных безопасных параметров с возможностью уведомления координаторов по целостности и других ответственных лиц.

Выводы

Синергетический эффект применения систем мониторинга достигается путем использования систем текущего мониторинга, включающего видеонаблюдение, телеметрию и мобильную связь,

РИСУНОК 5. Колтубинговая установка отечественного производства



РИСУНОК 6. Подъемный агрегат (80 т) отечественного производства



обеспечивающие удаленное управление процессами локализации и ликвидации, с системами прогнозного мониторинга, способными на основе заложенных моделей и баз знаний давать прогнозы по отказам, возникновению и эскалации нештатных ситуаций, как на основе актуальных данных о технической системе, так и о работающем с ней персонале.

Значительный импульс применению данных систем дает развитие законодательной и нормативной базы. Особую роль здесь, наравне с обязывающими положениями, должны играть положения, гармонизирующие законодательство с точки зрения прав работников и работодателей.

Средства текущего и прогнозного мониторинга технических систем, в том числе отечественные, сделали большой шаг в своем развитии, расширение их применения является актуальной задачей. Системы прогнозного мониторинга на основе актуальных данных о персонале требуют приложения усилий для их дальнейшего развития, наполнения моделей, создания программного обеспечения, с целью необходимого перехода от компетентностного подхода оценки персонала к проактивно-креативной модели, основанной на оценке способности человека применять компетенции и навыки в актуальном функциональном состоянии. ●

Литература

- Захарова Ю.И., Захаров Д.Ю., Пискунов А.В. Правовые вопросы применения систем видеонаблюдения на опасных производственных объектах в аспекте обработки персональных данных // Научный журнал Российского газового общества. – 2023. – № 4 (40). – С. 86–91. – EDN NRPZUZ.
- Захаров Д.Ю., Пискунов А.В., Токарева С.А., Климова И.В. Повышение эффективности реагирования на газонефтеводопроявления и открытие фонтаны путем создания системы видеонаблюдения за процессом капитального ремонта газовых скважин // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023. – № 2. – С. 36–49. – DOI 10.17122/ogbus-2023-2-36-49. – EDN MLQCZR.
- Дашков Р.Ю., Олейников А.А., Гафаров Т.Н., Облеков Р.Г., Окишев Р.Н., Моисеенков А.В., Антоненко Э.А., Хабаров А.В., Дудочкин А.В., Меньшиков С.Н., Чужмарев С.С. Управление целостностью скважин на проекте «Сахалин-2» // Газовая промышленность. – 2024. – № S2 (866). – С. 118–123. – EDN QHPRM.

KEYWORDS: well overhaul, monitoring, response, emergency situation, reliability.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКУСТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СКВАЖИН для увеличения проницаемости горной породы

В СТАТЬЕ ПРЕДСТАВЛЕНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРоницаемости горных пород и увеличения нефтеотдачи на поздних стадиях разработки месторождений. моделирование показало, что упругие колебания снижают вязкость нефти и увеличивают проницаемость породы, что способствует более эффективной добыче. результаты подтверждают перспективность волнового воздействия для оптимизации процессов нефтедобычи, особенно на истощенных месторождениях и месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами

THIS PAPER PRESENTS A MATHEMATICAL MODEL OF THE ACOUSTIC STIMULATION METHOD FOR INCREASING ROCK PERMEABILITY AND ENHANCING OIL RECOVERY AT LATE STAGES OF FIELD DEVELOPMENT. THE MODELING SHOWED THAT ELASTIC VIBRATIONS REDUCE OIL VISCOSITY AND INCREASE ROCK PERMEABILITY, WHICH CONTRIBUTES TO MORE EFFICIENT PRODUCTION. THE RESULTS CONFIRM THE POTENTIAL OF WAVE ACTION FOR OPTIMIZING OIL PRODUCTION PROCESSES, ESPECIALLY IN DEPLETED AND HARD-TO-RECOVER FIELDS

Ключевые слова: акустическая стимуляция, математическая модель, проницаемость горных пород, нефтеотдача, волновые технологии.

**Алфаяд
Ассим Гани Хашим**

аспирант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов

**Кемалов
Руслан Алимович**

доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, к.т.н.

**Кемалов
Алим Фейзрахманович**

заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродных материалов, профессор, д.т.н.

Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет

Согласно прогнозам, глобальный спрос на энергию продолжит расти из-за увеличения численности населения и активного экономического роста развивающихся стран. Несмотря на развитие возобновляемых источников энергии, к 2040 году потребление энергии возрастет на 48%, что диктует необходимость в оптимизации использования существующих нефтяных ресурсов [1]. В контексте нефтедобычи важным остается баланс между удовлетворением спроса и снижением экологического воздействия, включая уменьшение выбросов парниковых газов. Одним из решений является внедрение технологий повышения нефтеотдачи (МУН), направленных на извлечение нефти из зрелых и истощенных месторождений, что особенно актуально, учитывая низкий уровень добычи нефти из традиционных коллекторов [2].

МУН и технологии улавливания углерода приобретают все большую значимость в условиях ограниченности запасов нефти и сложностей в освоении новых месторождений. На практике при первичной добыче удается извлечь лишь 30–50% начальных запасов нефти из-за капиллярных эффектов и неоднородности коллекторов [3]. Это подчеркивает важность применения инновационных методов МУН, которые могут повысить коэффициент извлечения нефти. Среди таких методов значительную роль играют технологии с использованием упругих волн, которые показывают перспективные результаты в восстановлении добычи на зрелых и истощенных месторождениях. Например, применение вибросейсмических методов в ряде полевых исследований увеличивало дебит скважин на 10–65% [4].

Одним из эффективных подходов является воздействие низкочастотных акустических волн, которые могут изменять структуру коллоидных отложений и увеличивать проницаемость порового пространства [5]. Эти волны способствуют улучшению фильтрационных свойств нефтяных пластов, снижению вязкости нефти и удалению блокировок в пористых средах. Примеры таких процессов включают поперечные колебания порового давления между зонами разной проницаемости и периодические градиенты давления в трещиноватых коллекторах, что положительно влияет на мобилизацию захваченных нефтяных капель и увеличение темпов добычи [6].

Настоящее исследование направлено на разработку математической модели метода акустической стимуляции скважин для увеличения проницаемости горной породы. Модель, основанная на уравнении Гельмгольца с импедансными граничными условиями и точными неотражающими границами на основе карт Дирихле-Неймана (DtN), позволяет учитывать взаимодействие упругих волн с пористой средой в условиях цилиндрических волноводов, характерных для перфораций скважин. Применяя численное сканирование частот, можно определить оптимальные параметры резонансного воздействия, что позволяет повысить коэффициент извлечения нефти из гетерогенных и трещиноватых коллекторов.

Исследования показали, что акустическое воздействие может временно увеличивать проницаемость пористой среды и способствовать разрушению коллоидных структур, повышая эффективность МУН на зрелых и новых месторождениях [7–10].

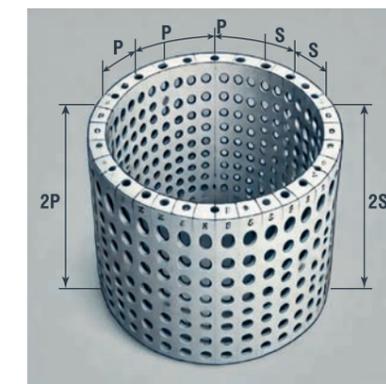
Математическая модель Геометрия

Перфорированная скважина создается в два этапа: бурение и заканчивание. Бурение включает установку обсадной колонны, стабилизирующей конструкцию скважины за счет металлических труб, прикрепленных к стенкам цемента. На этапе заканчивания

обсадная колонна подвергается обстрелу взрывчаткой в зоне нефтеносного пласта, создавая небольшие отверстия – перфорации, через которые нефть может поступать в скважину [9–15].

После выполнения этих операций можно выделить две зоны скважины: перфорированную область Ω_p и цилиндрическую область, состоящую из двух полубесконечных цилиндров сверху (Ω_+) и снизу (Ω_-) от перфорированной области. Модель скважины в исследовании представлена локально возмущенным цилиндром, объединяющим области $\Omega_w = \Omega_p \cup \Omega_+ \cup \Omega_-$, а границы между перфорированной и цилиндрическими областями обозначаются Γ_+ и Γ_- . Преобразователь (акустический источник) занимает ограниченную область $\Omega_s \subset \Omega_p$ с границей $\partial\Omega_s = \Gamma_s$. На рисунке 1 показаны все соответствующие области, рассматриваемые в математической модели.

РИСУНОК 1. Геометрическое описание перфорированной скважины и преобразователя



Акустические волны

Преобразователь моделируется как гармонически колеблющаяся поверхность Γ_s , работающая на частоте $f = \omega/2\pi$, где $\omega > 0$ – угловая частота в радианах. В результате воздействия источника устанавливаются гармонические по времени режимы для давления p , плотности ρ и скорости v , которые записываются как $P(x, t) = \text{Re} \{ p(x)e^{-i\omega t} \}$, $\rho(x, t) = \text{Re} \{ \rho(x)e^{-i\omega t} \}$ и $V(x, t) = \text{Re} \{ v(x)e^{-i\omega t} \}$, где $t > 0$ обозначает переменную времени,

а p , ρ и v обозначают амплитуды давления, плотности и скорости соответственно, которые зависят только от положения x . Линеаризованные уравнения состояния и сохранения массы и импульса в этом случае имеют вид [9, 17]:

$$p = c\rho, \quad (1a)$$

$$-\frac{i\omega}{c}p + \rho_0 \text{div } v = 0, \quad (1b)$$

$$-i\omega v + \frac{1}{\rho_0} \nabla p = 0, \quad (1c)$$

где c – скорость звука, ρ_0 – равновесная плотность жидкости. Комбинируя уравнения, можно получить уравнение Гельмгольца, описывающее давление в области $\Omega \sim \Omega_w \cup \Omega_s$:

$$\Delta p + k^2 p = 0, \quad (2)$$

где $k = \omega/c$ – волновое число. Диссипацию можно учесть через комплексное волновое число, однако в данном исследовании используются только реальные волновые числа.

Граничные условия

Граничные условия для поверхности скважины и преобразователя определяются как:

$$\frac{\partial p}{\partial n} - \frac{ik}{\zeta} p = g, \quad (3)$$

где $\zeta \in C$ – безразмерный поверхностный импеданс, а g – возбуждение на Γ_s . На границе Γ_w нормальная составляющая градиента давления пропорциональна полю давления p , а ζ зависит от механических свойств контактирующих материалов.

Импеданс стенки Z , определяемый как отношение амплитуды давления к нормальной скорости на границе перфораций, описывается выражением:

$$Z = \frac{p}{v \cdot n} = \left(\frac{\kappa \sqrt{i\omega m} H_1^{(1)}(\sqrt{i\omega m} r_0)}{\eta H_0^{(1)}(\sqrt{i\omega m} r_0)} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где $H_0^{(1)}$ и $H_1^{(1)}$ – функции Ханкеля первого рода, r_0 – радиус перфорации, κ – проницаемость, η – вязкость жидкости, $m = \varphi \eta / (\kappa V)$, φ – пористость, V – модуль объемного сжатия. Данное выражение справедливо, если r_0 меньше длины волны $\lambda = 2\pi/k$.

Краевая задача

Поле давления $p: \Omega \sim \rightarrow C$, возбуждаемое преобразователем, удовлетворяет следующим условиям:

$$\Delta p + k^2 p = 0 \text{ in } \tilde{\Omega}, \quad (5a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} - \frac{ik}{\zeta} p = 0 \text{ on } \Gamma_w, \quad (5b)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} = g \text{ on } \Gamma_s, \quad (5c)$$

где ζ определяется по формуле (6) на границе перфораций и считается бесконечным на Γ_w . Задача учитывает особое условие излучения, адаптированное для цилиндрических областей Ω^+ и Ω^- .

Метод конечных элементов Дирихле-Неймана (DtN-FE)

Карта DtN

Метод DtN-FE используется для численного решения уравнений, описанных в краевой задаче (9), поскольку стандартные методы конечных элементов (FE) неприменимы напрямую из-за неограниченности области Ω . В основе метода лежат операторы DtN T_{\pm} , которые отображают граничные значения $p|_{\Gamma_{\pm}}$ на Γ_{\pm} в соответствующие нормальные производные $\partial p / \partial n|_{\Gamma_{\pm}}$ на Γ_{\pm} [11, 12, 19]. Эти операторы обеспечивают точные неотражающие граничные условия на Γ_{\pm} , позволяя задать задачу в ограниченной области $\Omega = \Omega \setminus (\Omega^+ \cup \Omega^-)$, что делает ее подходящей для решения методами конечных элементов.

Чтобы выразить операторы DtN, вводится цилиндрическая система координат (r, θ, z) с $r \geq 0, 0 \leq \theta \leq 2\pi$ и $z \in \mathbb{R}$, и верхняя и нижняя цилиндрические области задаются как $\Omega_{\pm} = \{r < R, \pm z > H\} \subset \mathbb{R}^3$, где $H > 0$ обозначают высоту усечения и радиус соответственно. Применение метода разделения переменных к уравнению Гельмгольца в Ω_{\pm} с граничным условием Неймана на $\{r=R\}$ приводит к следующему серийному представлению для поля давления [13]:

$$p(r, \theta, z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} p_{n,m}^{\pm} v_{n,m}(r, \theta) e^{\pm i(z \mp H) \sqrt{k^2 - \lambda_{n,m}^2}} \quad (6)$$

in Ω_{\pm} ,

где собственные функции и значения определяются с помощью функции Бесселя первого рода J_n и нулей ее производной $J'_{n,m}$, а нормированные функции $v_{n,m}$ задаются через [19]:

$$v_{n,m}(r, \theta) = c_{n,m} J_n(\lambda_{n,m} r) e^{in\theta}$$

and $\lambda_{n,m} = \frac{J'_{n,m}}{R}$

ТАБЛИЦА 1. Физические константы для сырой нефти и песчаника

Параметр	Значение
Скорость звука в нефти (c)	1524 м/с
Плотность нефти (ρ_0)	1100 кг/м ³
Сдвиговая вязкость нефти (η)	1,2 Па·с
Объемный модуль нефти (B)	3000 МПа
Проницаемость горных пород (κ)	3×10^{-13} м ²
Пористость горных пород (ϕ)	0,21

ТАБЛИЦА 2. Геометрические параметры конфигураций скважин

Параметр	Значение
Радиус скважины (R)	0,111 м
Высота перфорированного домена (2H)	1,800 м
Длина преобразователя	1,410 м
Радиус преобразователя	0,054 м
Радиус перфорации (r_0)	0,020 м
Глубина перфорации	0,305 м
Расстояние перфорации (1-я скважина)	0,257 м
Угол фазировки (1-я скважина)	$\pi/2$ рад
Расстояние перфорации (2-я скважина)	0,200 м
Фазовый угол (2-я скважина)	$\pi/3$ рад
Расстояние перфорации (3-я скважина)	0,160 м
Фазовый угол (3-я скважина)	$\pi/6$ рад

Эквивалентная краевая задача

Используя непрерывность поля давления и его нормальную производную на Γ_{\pm} , формулируется эквивалентная краевая задача [7–12]:

$$\Delta p + k^2 p = 0 \text{ in } \Omega, \quad (7a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} - \frac{ik}{\zeta} p = 0 \text{ on } \Gamma_p, \quad (7b)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} = g \text{ on } \Gamma_s, \quad (7c)$$

$$\frac{\partial p}{\partial n} = \mathcal{T}^{\pm} p \text{ on } \Gamma^{\pm}, \quad (7d)$$

где условия на Γ_{\pm} гарантируют непрерывность давления и скорости через искусственные границы.

Результаты и их обсуждение

Этот раздел содержит результаты численного моделирования метода акустической стимуляции скважин (АСС), проведенного с учетом физических и геометрических параметров среды,

указанных в таблицах. Данные моделирования были получены для оценки оптимальных условий передачи энергии и определения резонансных частот, на которых происходит максимальная стимуляция проницаемости породы.

Исходные физические и геометрические параметры

Численные значения физических констант для жидкости (сырой нефти) и пористого материала (песчаника), использованных в моделировании, приведены в таблице 1. Эти параметры были взяты из работ [9, 10].

Геометрические параметры скважин, включая размеры преобразователя и перфораций, были выбраны в соответствии с конструкциями, описанными в исследованиях [7, 11, 12], и представлены в таблице 2.

Эти параметры позволяют оценить передачу энергии через перфорационные отверстия и проверить эффективность резонансных режимов для различных частот возбуждения.

РИСУНОК 2. Объединенный коэффициент передачи энергии Q как функция частоты для трех симметричных конфигураций скважин

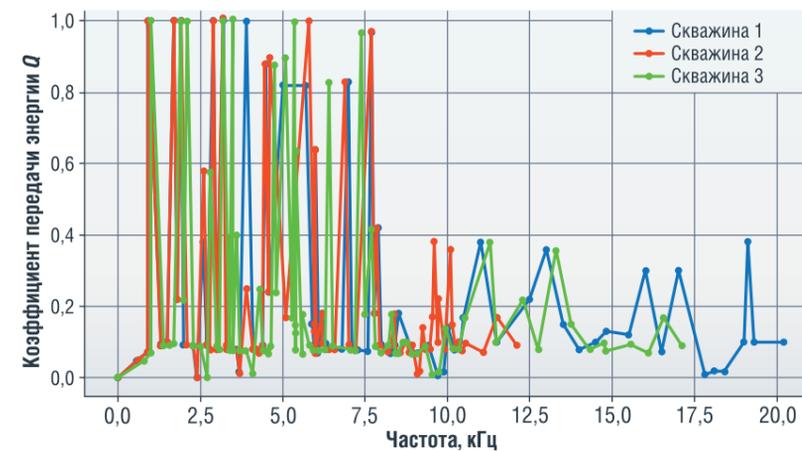
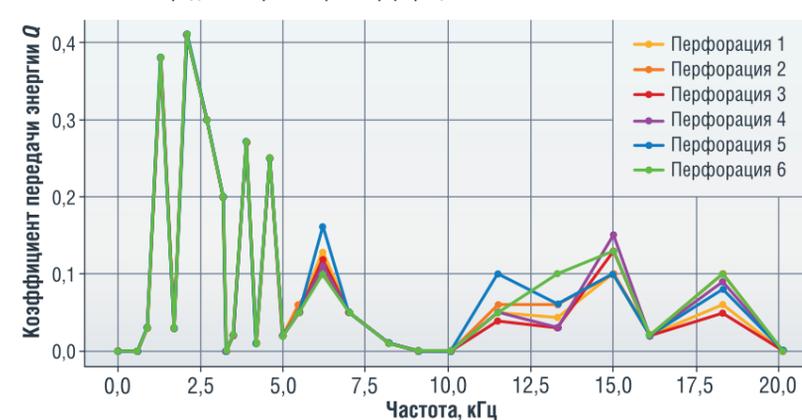


РИСУНОК 3. Передача энергии через перфорации в зависимости от частоты



Резонансные частоты и передача энергии

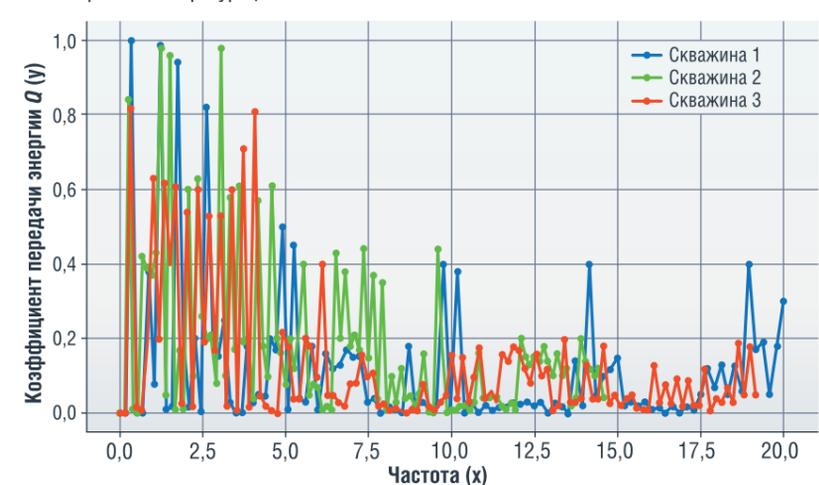
На основе параметров, представленных в таблицах, проводилось моделирование для трех конфигураций скважин, содержащих 6, 8 и 10 перфораций. Коэффициент передачи энергии Q рассчитывался для диапазона частот, и результаты представлены на рисунке 2.

Резкие пики значения Q наблюдаются на определенных частотах, таких как 0,895, 1,585, 2,79, 3,695 и 5,525 кГц, что указывает на наличие резонансных эффектов внутри перфораций. При этих частотах амплитуда поля давления внутри перфораций достигает высоких значений, как показано на рисунке 3, что способствует улучшению проницаемости породы вблизи перфораций.

Пики на графике показывают частоты, на которых передача энергии через перфорации

скважины достигает максимума. Это явление можно объяснить с помощью резонанса, при котором система (в данном случае перфорации) наиболее эффективно передает энергию на определенных частотах.

РИСУНОК 4. Сводный коэффициент передачи энергии Q как функция частоты для трех симметричных конфигураций скважин



Влияние случайных возмущений конфигурации скважин

Для оценки устойчивости резонансных частот к случайным возмущениям была проведена серия экспериментов с модифицированными параметрами скважин, такими как радиус и глубина перфораций, а также положение преобразователя. На рисунке 4 представлены результаты расчета Q для таких возмущенных конфигураций, где наблюдается снижение корреляции между пиками, что указывает на изменение резонансных частот при случайных возмущениях.

Отдельные значения коэффициентов передачи энергии Q_j для каждой перфорации в случайных конфигурациях представлены на рисунке 5. Эти результаты показывают, что, несмотря на изменения, локальные резонансные частоты все равно способствуют передаче энергии, хотя эффективность метода снижается по сравнению с симметричными конфигурациями.

На графике видно, что значения коэффициента передачи энергии значительно изменяются в зависимости от частоты для каждой перфорации. Это указывает на то, что каждая перфорация имеет свои оптимальные частоты, при которых передача энергии достигает локальных максимумов. Такие локальные максимумы отличаются для каждой перфорации, что отражает влияние геометрических факторов – например, вариации в радиусе и длине перфораций, а также в положении преобразователя.

РИСУНОК 5. Зависимость индивидуальных коэффициентов передачи энергии Q_i от частоты для скважины 1 с перфорациями 1–6

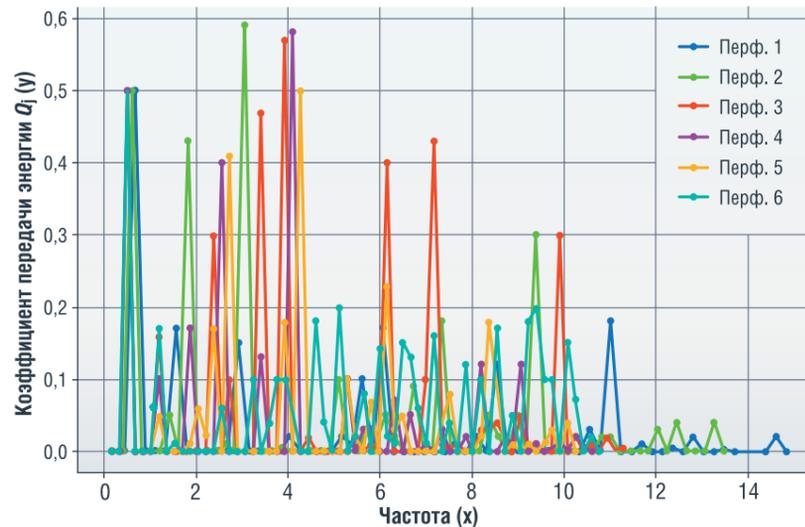


РИСУНОК 6. График зависимости коэффициента передачи энергии Q от частоты для различных значений проницаемости

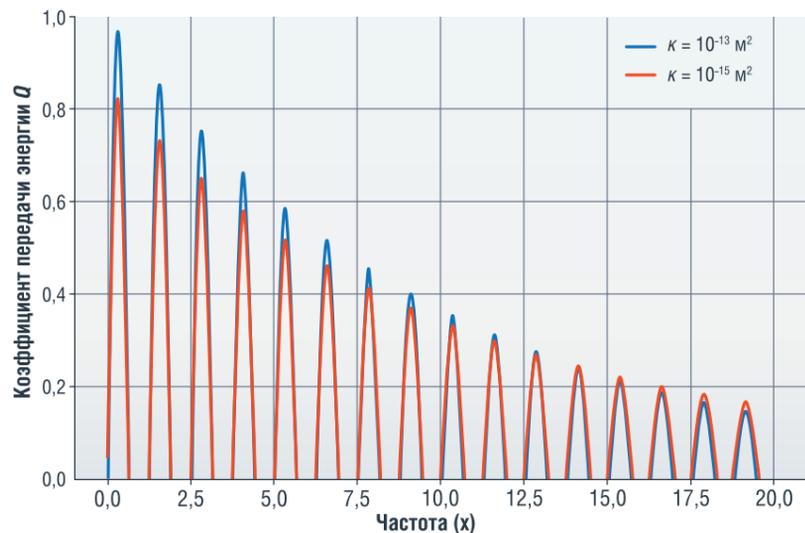
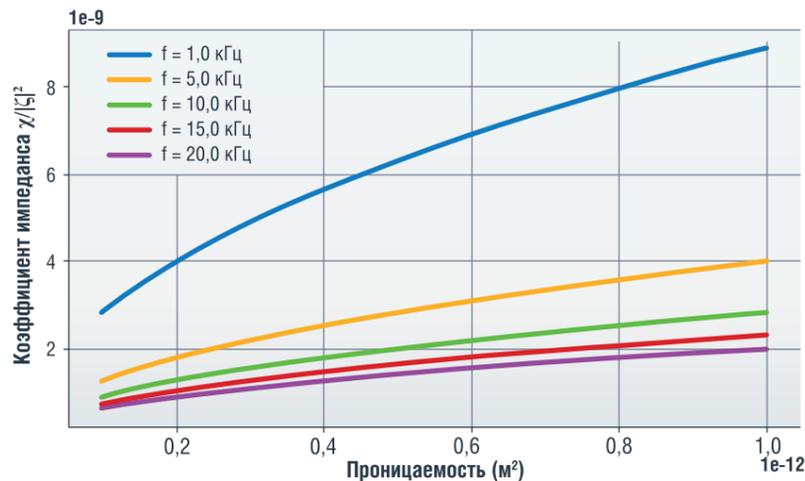


РИСУНОК 7. Зависимость коэффициента импеданса $\chi/|z|^2$ от проницаемости пласта κ при различных частотах (1, 5, 10, 15 и 20 кГц)



Эта изменчивость в пиковых значениях подтверждает, что различные параметры перфораций и случайные изменения их формы могут смещать частоты, на которых достигается максимальная передача энергии. Таким образом, оптимальные частоты для максимизации Q_i не являются одинаковыми для всех перфораций в пределах одной скважины, что усложняет задачу точного прогнозирования и требует индивидуальной настройки для каждой перфорации.

Изменение частоты влияет на Q таким образом, что для разных конфигураций перфораций пиковые значения появляются на различных частотах, что свидетельствует о необходимости учета уникальных геометрических параметров каждой перфорации при оптимизации передачи энергии.

Влияние проницаемости породы на передачу энергии

Дополнительно исследовалось влияние проницаемости породы (κ) на коэффициент передачи энергии. Моделирование проводилось для значений $\kappa = 1 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ и $\kappa = 1 \times 10^{-13} \text{ м}^2$. Результаты представлены на рисунке 6, где видно, что при более высокой проницаемости ($\kappa = 1 \times 10^{-13} \text{ м}^2$) значение Q возрастает, что подтверждает улучшение передачи энергии при более проницаемой породе.

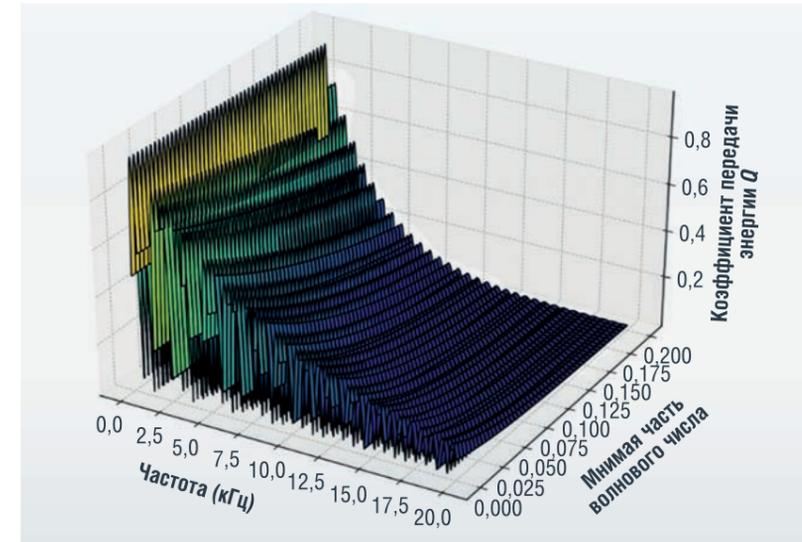
На рисунке 7 показана зависимость коэффициента импеданса $\chi/|z|^2$ от проницаемости для разных частот возбуждения. Эти графики подтверждают, что увеличение проницаемости приводит к росту значения $\chi/|z|^2$, что положительно сказывается на эффективности метода АСС.

Влияние затухания и комплексных волновых чисел

Для моделирования затухания энергии в буровом растворе был введен параметр комплексного волнового числа $k(x)$, который учитывает диссипацию энергии. Комплексные волновые числа с мнимой частью смещают резонансные частоты (рисунок 8), снижая значение Q из-за потерь энергии на тепловую диссипацию, однако резонансные пики остаются заметными.

Затухание существенно влияет на пики коэффициента передачи энергии Q . С увеличением мнимой части

РИСУНОК 8. Влияние мнимой части волнового числа на коэффициент передачи энергии Q в зависимости от частоты



волнового числа, представляющей затухание, амплитуда пиков Q снижается, поскольку потери энергии ограничивают достижение высоких уровней передачи. Резонансные частоты также слегка смещаются, что обусловлено изменением условий резонанса. Пики становятся более широкими и менее резкими, указывая на снижение четкости резонансного поведения. При высоком затухании система теряет эффективность, и ни одна частота не обеспечивает значительной передачи энергии, что ведет к менее выраженным частотным максимумам.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает высокую эффективность использования волновых технологий для интенсификации нефтедобычи на заключительных стадиях разработки месторождений. Разработанная математическая модель, основанная на уравнении Гельмгольца, позволяет оценить влияние акустических волн на проницаемость горных пород и распределение энергии в нефтяных пластах. Моделирование показало, что оптимальный выбор частот и параметров акустической стимуляции может значительно улучшить условия фильтрации нефти, снижая вязкость и разрушая отложения в поровом пространстве.

Результаты численных экспериментов продемонстрировали, что затухание,

учтенное через комплексное волновое число, влияет на амплитуду и расположение резонансных пиков. Это смещение частотных максимумов и снижение коэффициента передачи энергии подчеркивают необходимость учета затухания для определения оптимальных параметров стимуляции. В условиях высокой частоты и низкого затухания достигается более эффективное воздействие на пласт, что подтверждает потенциальную применимость метода для интенсификации добычи на зрелых месторождениях.

Таким образом, акустическая стимуляция может стать важным инструментом для увеличения нефтеотдачи на поздней стадии разработки месторождений. Предложенная модель представляет возможности для дальнейших исследований и практического применения, служа основой для разработки инновационных методов увеличения добычи нефти в условиях высокой степени истощенности запасов. ●

Литература

- Mohammed B.A., Shiferaw R.J., Iskandar D., Al-shami T.M., Minh D.L. Seismic Wave Excitation of Mature Oil Reservoirs for Green EOR Technology // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 2023. Т. 103, № 2. С. 180–196. doi.org/10.37934/arfmts.103.2.180196.
- Dai L., Zhang Y. Effects of low frequency external excitation on oil slug mobilization and flow in a water saturated capillary model // Petroleum. 2019. Т. 5, № 4. С. 375–381. doi.org/10.1016/j.petlm.2019.03.001.
- Jeong C., Kallivokas L.F., Huh C., Lake L.W. Estimation of oil production rates in reservoirs

exposed to focused vibrational energy // In SPE Improved Oil Recovery Symposium. 2014. doi.org/10.2118/169079-MS.

- Wooden B. Technology Update: Seismic Stimulation: An Eco-Friendly, Effective EOR Alternative // Journal of Petroleum Technology. 2018. Т. 70, № 8. С. 21–23. doi.org/10.2118/0818-0021-JPT.
- Kurawle I., Kaul M., Mahalle N., Carvalho V., Nath N., Amin Z. Seismic EOR-the optimization of aging waterflood reservoirs // In SPE Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition. 2009. doi.org/10.2118/123304-MS.
- Kang P.S., Lim J.S., Huh C. Temperature dependence of relaxation time of hydrolyzed polyacrylamide solution for enhanced oil recovery // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2019. Т. 78. С. 257–264. doi.org/10.1016/j.jiec.2019.06.004.
- Алфаяд А.Г.Х., Кемалов П.А., Кемалов А.Ф., Валеев Д.З. WaveWellTech: Инновационная волновая технология для интенсификации добычи нефти. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2024. 122 с. URL: https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/183868?show=full.
- Алфаяд А.Г.Х., Кемалов П.А. Анализ влияния волновых эффектов на изменения реологических характеристик тяжелой нефти // Нефтегазовые технологии. 2022. № 2 (139). С. 55–58.
- Pérez-Arancibia C., Godoy E., Durán M. Modeling and simulation of an acoustic well stimulation method // Wave Motion. 2018. Т. 77. С. 214–228. https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2017.12.005.
- Cheng A.C.H., Blanch J.O. Numerical modeling of elastic wave propagation in fluid-filled borehole // Commun. Comput. Phys. 2008. Т. 3, № 1. С. 33–51.
- Mullakaev M.S., Abramov V.O., Pechkov A.A. Ultrasonic unit for restoring oil wells // Chemical and Petroleum Engineering. 2009. Т. 45, № 3–4. С. 133–137.
- Hagoort J. An analytical model for predicting the productivity of perforated wells // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2007. Т. 56. С. 199–218.
- Pérez-Arancibia C. Modeling and Simulation of Time-Harmonic Wave Propagation in Impedance Guides: Application to an Oil Well Stimulation Technology (Master's thesis). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010.
- Beckham R.E., Abdel-Fattah A.I., Roberts P.M., Ibrahim R., Tarimala S. Mobilization of colloidal particles by low-frequency dynamic stress stimulation // Langmuir. 2010. Т. 26, № 1. С. 19–27. doi.org/10.1021/la900890n.
- Jeong C., Kallivokas L.F., Kucukcuban S., Deng W., Fathi A. Maximization of wave motion within a hydrocarbon reservoir for wave-based enhanced oil recovery // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Т. 129. С. 205–220.
- Алфаяд А.Г.Х., Валеев Д.З., Кемалов П.А., Риффель Д.В., Брызгалов Н.И. Применение ультразвукового воздействия для повышения нефтеотдачи // Нефтегазовые технологии. 2023. № 2 (145). С. 36–43.
- Марфин Е.А. Шумовой каротаж в скважине и виброакустическое воздействие на насыщенные жидкостью пласты. Казань, 2015. 45 с.
- Jaber T., Hassan N., Yaser S., Ali T. Using ultrasonic as a new approach for elimination of inorganic scales (NaCl): an experimental study // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. 2018. Т. 8. С. 553–564. doi.org/10.1007/s13202-017-0369-4.
- Алфаяд А.Г.Х., Кемалов П.А., Кемалов А.Ф. Методика оценки физических характеристик пласта под воздействием упругих волн. Казань: Федер. ун-т, 2024. 82 с. URL: https://repository.kpfu.ru/?p_id=302632.

KEYWORDS: acoustic stimulation, mathematical model, rock permeability, oil recovery, wave technologies.

Полная версия журнала
доступна по подписке