



ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛЕДОВЫХ
НАГРУЗОК



ПОДВОДНЫЕ
ЧЕЛНОЧНЫЕ
ТАНКЕРЫ



БУНКЕРОВКА
ВОДНОГО
ТРАНСПОРТА СПГ

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

Neftegaz.RU

ISSN 2410-3837

OFFSHORE

11 [143] 2023

ДОБЫЧА НА ШЕЛЬФЕ



Входит в перечень ВАК (К1)

РЕКЛАМА

ВСЕЛЕННАЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЭК

Проект о космических технологиях
на службе отрасли

спецпроект
Neftegaz.RU

kosmos.neftegaz.ru



Верхние строения морских платформ. Основные подходы к оптимизации массогабаритных характеристик



14

Проблемы создания технических средств для освоения ресурсов ледовитых морей. Научная школа гидротехники ДВФУ



20

СОДЕРЖАНИЕ

Математическое моделирование процессов перекачки продукции через резервуарные парки перерабатывающих производств



28

Подводные челночные танкеры для транспортировки углеводородов



42

Эпохи НГК 4

РОССИЯ Главное

Вы все еще хотите добывать нефть? Тогда мы идем к вам! 6

Первый в ЮФО СПГ-завод и новые объекты газозаправочной инфраструктуры 8

События 10

Первой строчкой 12

ИНЖИНИРИНГ

Верхние строения морских платформ. Основные подходы к оптимизации массогабаритных характеристик 14

Проблемы создания технических средств для освоения ресурсов ледовитых морей. Научная школа гидротехники ДВФУ 20

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Математическое моделирование процессов перекачки продукции через резервуарные парки перерабатывающих производств 28

Календарь событий 35

ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

Безопасность логистики в арктической зоне 36

Подводные челночные танкеры для транспортировки углеводородов 42

ГАЗОПОДГОТОВКА

Мировой опыт компримирования углекислого газа 52

СТРОИТЕЛЬСТВО В ТЭК

Экологические тренды в металлургии: «Трест Коксохиммонтаж» завершил проект по строительству коксовой батареи на предприятии «Северсталь» 58

Проблема гибкости поставки и территориальных запретов в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ



60

Теплообменники для СПГ-производств как важный фактор оптимизации энергоэффективности



68

Бункеровка водного транспорта СПГ: противопожарное нормирование



80

Разработка экологических нормативов качества окружающей среды как основа для сохранения природных ландшафтов Арктики



100

СПГ

Проблема гибкости поставки и территориальных запретов в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ 60

Теплообменники для СПГ-производств как важный фактор оптимизации энергоэффективности 68

Россия в заголовках 71

Первый среди равных: почему СПГ необходим российской Арктике 72

Хронограф 79

ПРОМБЕЗОПАСНОСТЬ

Бункеровка водного транспорта СПГ: противопожарное нормирование 80

Исследование вибродемпфирующих материалов в средствах индивидуальной защиты 86

ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ

Обзор проблем крепления скважин и применяемых тампонажных материалов 90

MODUS VIVENDI

Роскошь и романтика Мальдив в Siyam World 96

ЭКОЛОГИЯ

Разработка экологических нормативов качества окружающей среды как основа для сохранения природных ландшафтов Арктики 100

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ

Устойчивое развитие нефтегазового комплекса в период внешнеэкономических ограничений и технологических трансформаций 102

Новости науки 108

Нефтегаз Life 110

Цитаты 112

145 лет назад

В 1877 году по заказу «Товарищества братьев Нобель» на верфях шведского города Мотала построен первый в мире танкер – наливной пароход «Зороастр».

114 лет назад

В 1909 году на Каспии начали засыпать Биби-Эйбатскую бухту, чтобы создать большой участок суши и затем добывать там нефть. За восемь лет насыпали 193 га, вложив в мероприятие пять млн золотых рублей.

106 лет назад

В 1917 году в США получен первый СПГ, но промышленных масштабов производство достигло только в 1960-х годах.

60 лет назад

В 1963 году введена в эксплуатацию первая полупогружная морская буровая установка – Ocean Driller.

55 лет назад

В 1968 году начались поиски нефти и газа на шельфе Черного моря. Через год было открыто Голицынское ГКМ, для разработки которого на Херсонском судостроительном заводе была построена первая стационарная платформа.

47 лет назад

В 1976 году геологическими организациями СССР, ГДР и Польши учреждено совместное предприятие «Петробалтик», приступившее к изучению акватории Балтийского моря.

44 года назад

В 1979 году в Мурманске создан трест «Арктикоморнефтегазразведка». Спустя два года трест пробурил в Печорском море две первые скважины. Бурение носило экспериментальный характер и осуществлялось с судна «Севастополь», переоборудованного в буровую платформу.

40 лет назад

В 1983 году в Балтийском море открыта крупная залежь на глубине до 30 м. Первая пробуренная скважина дала промышленный приток легкой высококачественной нефти. Месторождение получило название Кравцовское в честь геофизика Бориса Кравцова.

31 год назад

В 1992 году 19 государственных предприятий учредили ЗАО «Росшельф», возглавил компанию академик Е. Велихов.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Анатолий Чижовский
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



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

Служба технической
поддержки
Сергей Прибыткин

Выставки, конференции,
распространение
Мария Короткова

Отдел по работе
с клиентами
Екатерина Данильчук

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

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

Переписка 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



9 772410 383004



OMK POLAR

Премиальное газогерметичное
резьбовое соединение
обсадных труб для нефтяных
и газовых скважин



Сертифицировано
по международному
стандарту ISO 13679
на уровень CAL IV

Совершенство
продуманных
решений

Т (495) 231-77-71
W premium.omk.ru



Согласно прогнозу МЭА,
пик потребления нефти
придется на

2030 год

ОПЕК
предсказывает рост спроса
на нефть до

2045 года

Активисты
«Just Stop Oil»
напали на картину
«Венера с зеркалом»

В Китае производят
80%
всех солнечных панелей
в мире

ВЫ ВСЕ ЕЩЕ ХОТИТЕ ДОБЫВАТЬ НЕФТЬ? ТОГДА МЫ ИДЕМ К ВАМ!

Анна Павлихина

Правительство Великобритании объявило о намерении ежегодно выдавать новые лицензии на разработку нефтегазовых месторождений. Это решение (или магнитные бури, случившиеся тогда же – 6 ноября) спровоцировало активистов «Just Stop Oil» на малопонятный поступок – нападение на картину Д. Веласкеса «Венера с зеркалом». Полотно не пострадало, активисты тоже, лицензии на месторождения будут выдаваться. Так в чем смысл деяния? Осмелимся предположить: в пиаре, в продвижении идеи безуглеродного мира всеми доступными способами. Каким бы бессмысленным вандализмом не казалась нам эта акция, менталитет европейца воспринимает ее иначе. Из всех рупоров жители европейских стран слышат о планомерных шагах по достижению углеродной нейтральности, переходе на возобновляемые источники энергии, стремительном увеличении количества электромобилей на дорогах и ветряных электростанций на побережье.

Согласно последнему прогнозу МЭА, пик потребления нефти придется на 2030 год, с 2026 года начнет уменьшаться спрос на нефтепродукты,



в первую очередь на бензин. Еще два года назад агентство заявило, что необходимо прекратить инвестировать в новые нефтяные проекты, чтобы достичь нулевых выбросов к 2050 году.

Этого широко разрекламированного 2050 года европейцы ждут, как поворотного момента, когда мир наконец откажется от углеродных энергоносителей и начнет жить на абсолютно зеленой планете с правильной атмосферной температурой и накрепко

смерзшимися ледниками. Эта прекрасная мечта, за которой мы тоже хотели бы следовать, но задавленные суровой нефтяной реальностью, увы, пока не можем.

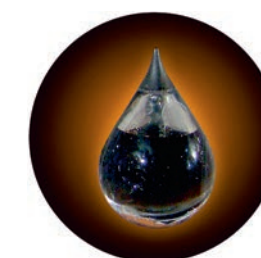
Как не могут поверить в столь близкий конец нефтяной эры и другие страны-экспортеры нефти. Их жизнь немислима без нефти и газа, все, включая долгосрочные проекты, направлено на продажу их ископаемых богатств. Производители давно

не работают под спрос, они сами формируют этот спрос. Именно поэтому прогнозы ОПЕК столь значительно отличаются от прогнозов МЭА. Нет продукта, который бы не нуждался в рекламе. И нефть не исключение.

Согласно данным ОПЕК, нефть будет занимать место ведущего энергоносителя еще почти четверть века, минимум до 2045 года мировой спрос на нее будет расти. Конечно, они делают оговорку и по поводу инвестирования добычной отрасли, которую нельзя прекращать, иначе мировой рынок впадет в состояние волатильности. Нельзя не оговориться, что в конечном итоге так и будет, как не готовься к переходному периоду (а готовится мало кто), но любой выход на новый уровень сопровождается кризисными явлениями.

В то время как ОПЕК рекламирует нефть, а МЭА безуглеродную энергетику, китайцы продолжают скупать и нефть, и газ, и литий для производства солнечных батарей. Объективно глядя в будущее с декарбонизированной экономикой, они не торопятся отказываться от углеводородов и наращивают компетенции в технологиях ВИЭ. Сегодня доля Китая в мировом производстве солнечных панелей составляет 80%, в производстве ветряных турбин – 60%, батарей для электромобилей – 60%. По-восточному мудрая позиция: придерживаться не одной из диаметрально противоположных точек зрения, а брать на вооружение то, в чем стороны сходятся.

А сходятся прогнозисты МЭА и ОПЕК в том, что нефть еще не достигла потребительского пика, ее потребление будет расти во всем мире как минимум два десятилетия, и рост этот может быть очень существенным. ●



ПЕРВЫЙ В ЮФО СПГ-ЗАВОД И НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Елена Алифирова

«Газпром» запустил в работу малотоннажный комплекс по сжижению природного газа в Волгоградской области и объекты газозаправочной инфраструктуры в пяти регионах.

КСПГ в Быковском районе Волгоградской области стал первым в Южном федеральном округе производством СПГ. Особенность проекта в том, что для сжижения используется газ независимого производителя – компании «Быковгаз», которая ведет добычу на Южно-Кисловском газоконденсатном месторождении. Производительность КСПГ – 1,5 т в час (12,6 тыс. т в год), мощность энергоцентра – 2,4 МВт, входной поток газа – 1,2 МПа, 3600 м³ в час. Завод производит СПГ марки Б (газ, используемый в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания). Более 70 % оборудования произведено на территории РФ.

Проект реализован в сжатые сроки – строительно-монтажные работы на КСПГ начались в марте 2023 г. Генподрядчиком проекта выступила компания «Газпром гелий сервис». Первыми потребителями продукции предприятия станут пассажирские автобусы г. Волгограда, доставку СПГ в специальных криогенных цистернах обеспечивают СПГ-тягачи «Газпром гелий сервиса». Также СПГ может применяться для газификации удаленных объектов, строительство газопроводов к которым экономически нецелесообразно.

Рассматривается строительство еще одного КСПГ в ЮФО на территории Астраханской области, потенциальный объем производства СПГ на двух КСПГ оценивается на уровне немного меньше 100 тыс. т в год.

Также 1 ноября на ПМГФ «Газпром» запустил шесть новых газозаправочных объектов в пяти регионах: в республике Башкортостан, Вологодской, Ленинградской, Новосибирской и Омской областях. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

Хаменеи призвал исламские страны прекратить поставки нефти Израилю, он заявил, что «исламские правительства должны настаивать на немедленном прекращении преступлений в секторе Газа» путем остановки экспорта нефти и продовольствия в Израиль. Какие изменения произойдут на мировом рынке нефти, если исламские страны откликнутся на этот призыв?

Что ждет рынок в случае введения нефтяного эмбарго против Израиля?

11 %

Предложение на мировом рынке увеличится за счет объемов, ранее направляемых в Израиль, что спровоцирует снижение цены

29 %

На цену нефти и объемы мировых поставок это не повлияет, так как ближневосточную нефть перекупят посредники и продадут Израилю подороже

14 %

Поставки энергоносителей в современном мире диверсифицированы, что защищает страны-импортеры от подобных инцидентов

26 %

Израиль начнет закупать нефть у других стран, уменьшив таким образом общий объем предложения на рынке, что спровоцирует повышение цены

20 %

Ситуация в любом случае не продлится достаточно долго, чтобы повлиять на импортно-экспортные потоки или надолго изменить цену на нефть

Аналитики прогнозируют резкий рост экспорта нефти из России в ноябре. Ожидается, что объемы отгрузок достигнут рекордных за полгода 3,53 млн барр. в сутки. Стоит ли ожидать воплощения в реальность прогнозных цифр и какие аспекты сложившейся ситуации в наибольшей мере могут этому способствовать?

Что способствует увеличению экспорта нефти из России?

21 %

Увеличение экспортных отгрузок связано с повышением биржевых цен на сырье

26 %

Плановые ремонтные работы на НПЗ традиционно приводят к увеличению экспорта

16 %

Роль в увеличении экспорта должен сыграть рост отгрузок Urals из портов европейской части России

20 %

В России действует запрет на поставки за границу бензина, что стимулирует увеличение продаж сырой нефти на внешних рынках

17 %

На рынке появилась потребность в объемах, и Россия закрывает эту потребность

Ведущая технология защиты от избыточного давления с использованием аэрокосмических разработок



Переключающий клапан серии НТКН-В
Размеры: 1"-18"
Диапазон давления: 150 ~ 1500 фунтов
Диапазон температур: -196° C ~ +538° C



Пружинный предохранительный клапан с прямой нагрузкой серии НТО/В НТДО/В
Размеры: 1" D2"-20" BB24"
Диапазон давления: 150 ~ 2500 фунтов
Диапазон температур: -196° C ~ +816° C



Линейная заглушка быстрого действия серии НТЛВ
Размеры: 1/2"-48"
Диапазон давления: 150 ~ 2500 фунтов
Диапазон температур: -196° C ~ +650° C



Клапан сброса давления при гидроударе серии НТСJ (сертифицирован Saudi Aramco)
Размеры: 2"-16"
Диапазон давления: 150 ~ 900 фунтов
Диапазон температур: -40° C ~ +320° C



Пилотный предохранительный клапан модуляционного типа серии НТХD
Размеры: 1" X 2"-10" X 14"
Диапазон давления: 150 ~ 2500 фунтов
Диапазон температур: -196° C ~ +538° C



Устройство сброса давления игольчатого разрушительного типа серии НТБP (сертифицировано Saudi Aramco)
Размеры: 1"-78"
Диапазон давления: 150 ~ 900 фунтов
Диапазон температур: -196° C ~ +538° C



BAPTEEC LTD
Beijing Aerospace Petrochemical Technology
and Equipment Engineering Corporation Limited

Адрес: Китай, г. Пекин, район Дасин, Пекинская зона экономического и технического развития, третья улица Тайхэ, № 2
Вебсайт: en.safetyvalvechina.com

e-mail: chenxy3@calt11.cn
Тел.: +86-13811709811 +86-10 87094555
Факс: +86-10 87094561
Почтовый индекс: 100176

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

Больше газа Китаю!

Газпром и CNPC на ПМГФ подписали соглашение о проектировании и строительстве трансграничного участка Дальневосточного маршрута поставок газа в Китай. Соглашение регулирует взаимодействие сторон по вопросам проектирования и строительства трансграничного участка газопровода через р. Уссури (Усулицян) в районе г. Дальнереченск (Россия, Приморский край) и Хулинь (Китай, провинция Хэйлунцзян). Трансграничный участок газопровода будет начинаться от газоизмерительной станции на территории РФ и заканчиваться головной компрессорной станцией Хулинь принимающего газопровода в КНР (ГИС и КС в состав участка не входят). Дальневосточный маршрут (ранее Сила Сибири-3) предполагает поставку в Китай с шельфовых месторождений проекта Сахалин-3.

Спецтанкеры от Vitol

Международный энерготрейдер Vitol в партнерстве с Shift Clean Energy и SeaTech поставит Сингапuru первые гибридные танкеры-бункеровщики. Первое судно IMO Type 2 компания планирует поставить в январе 2024 г. и еще несколько в течение

Госкомпания Южной Кореи KNOC заключила соглашение с госкомпанией Саудовской Аравии Saudi Aramco о хранении нефти в соответствии с усилиями по обеспечению стабильных поставок энергоносителей. KNOC будет хранить запасы нефти Saudi Aramco в объеме 5,3 млн барр. на своих объектах в промышленном г. Ульсан, Южная Корея получит приоритетное право на закупку нефти в случае кризиса поставок

Chevron объявила о покупке компании Hess. Стоимость – 53 млрд долл., сумма будет оплачена полностью акциями Chevron, акционеры Hess получают по 1,025 акции Chevron за каждую акцию Hess. Поглощение Hess, PDC Energy и Noble Energy доведет общую добычу Chevron до 3,7 млн барр. в сутки. Стороны надеются закрыть сделку в первой половине 2024 г.

года. В зависимости от спроса суда могут быть модернизированы для поставок метанола. Через дочерние предприятия Vitol планирует вывести на рынок широкий ассортимент смесей биотоплива от B24 и B30 до B100. Объемы производства биотоплива B24 в 2023 г. увеличились вдвое по сравнению с прошлым годом, а общий объем продаж сингапурского судового топлива, смешанного с биотопливом, превысил 300 тыс. т. Ожидается, что эта тенденция сохранится в 2024 г., особенно с учетом вступления в силу временных руководящих принципов IMO по биотопливу, согласно которым, сертифицированное биотопливо снижает показатель углеродоемкости судна из-за почти нулевого углеродного коэффициента. В рамках проекта SeaTech спроектирует до четырех гибридных танкеров с использованием систем накопления и хранения энергии Shift.

Дистилляты из вторсырья

В г. Северодвинске запущен первый на Северо-Западе завод по производству масляных дистиллятов из вторичного сырья. Инвестпроект «Организация производства масляных дистиллятов из вторичного сырья (отработанных масел)» реализует компания Масла СЗФ. Производственная линия позволяет перерабатывать в базовые масла до 1 тыс. т отработанного машинного масла в месяц. Объем ежемесячного производства масляных дистиллятов может составить до 700 тыс. т, на текущий момент объем ниже – от 350 до 500 т. Масляные дистилляты – это база для изготовления большинства современных смазочных материалов – автомобильных, промышленных, турбинных, трансформаторных масел и смазок. Объем инвестиций в проект составил более 170 млн руб. В планах компании наладить выпуск промышленных масел собственной марки. Раньше сырье отправлялось на переработку в другие субъекты, в связи с чем закупочная цена была невелика, открытие предприятия позволит увеличить ее в 2,5–3 раза, это позволяет вовлечь в процесс сбора не только крупные предприятия, но также малый и средний бизнес.

Вторая нитка ВСМО
Богучанская ТЭС запущена
Продажа квот
Дошли руки до Арктики
Южный поток
Цены на газ
Северный поток достроили

Минимум бюрократии, максимум трубопроводов

В Госдуму РФ внесен законопроект, предоставляющий крупнейшим трубопроводным компаниям право пользования участками недр местного значения для разведки и добычи общераспространенных полезных ископаемых (ОПИ) без проведения аукциона для строительства приоритетной трубопроводной инфраструктуры. Согласно законопроекту, такое право получат субъекты естественной монополии в сфере транспортировки газа по трубопроводам, которые выполняют работы по строительству, реконструкции, ремонту МГП и их неотъемлемых технологических частей. При этом предлагаемый механизм будет распространяться не на все МГП, а только на те, которые будут определены правительством РФ. В пояснительной записке к законопроекту отмечается, что в 2022 г.

перед правительством были поставлены задачи по разработке плана развития нефте- и газотранспортной инфраструктуры, в том числе позволяющей перенаправить поставки на перспективные рынки АТР, Африки и Латинской Америки,

В Казахстане запущена вторая нитка МГП Бейнеу – Жанаозен протяженностью 308 км. Пропускная способность МГП 5,8 млрд м³ в год. В Мангистауской области отмечается самое высокое потребление природного газа по стране. В 2022 г. на регион пришлось 19% от всей потребности внутреннего рынка

а также строительства новых нефте- и газопроводов с месторождений Сибири. По утверждению П. Завального, без минимизации количества и сроков административных процедур выполнение этих задач невозможно.

Ударная электроэнергия

ТЭС Ударная в Тамани, строительство которой ведет входящий в Ростех Технопромэкспорт, с ноября начала выдавать электроэнергию в Единую энергосистему России. Станцию планируется запустить в промышленную эксплуатацию до конца 2023 г. Изначально ТЭС планировалось ввести в 2021 г., однако запуск задержался из-за санкционных ограничений и необходимости переконфигурации проекта. Проведение пусконаладочных работ было сдвинуто на конец 2023 г. из-за решения об установке российской газовой турбины большой мощности ГТД-110М. Первые два энергоблока

ТЭС Ударная будут иметь мощность 225 МВт каждый. Мощность третьего составит 110 МВт. Общий объем инвестиций в проект до конца 2023 г. оценивается в сумму более 55 млрд руб.

Нетрадиционный газ – в переработку

Южнокорейские компании Hyundai Engineering & Construction и Hyundai Engineering заключили с государственной нефтяной компанией Саудовской Аравии Saudi Aramco контракт на строительство газоперерабатывающего завода в рамках разработки крупнейшего месторождения нетрадиционного газа в Саудовской Аравии Джафура с запасами 5,66 трлн м³. Газ месторождения жирный, многокомпонентный, содержащий ценное сырье для нефтехимической и металлургической отраслей. Saudi Aramco ожидает, что на полку добычи месторождение выйдет к 2036 г. с объемом 62,3 млн м³ в сутки.

Газоперерабатывающий комплекс будет производить около 12 млн м³ этана в сутки.

Строительство ГПЗ осуществят в два этапа с завершением к 2025 г. и 2027 г., на полную производственную мощность завод должен выйти к 2030 г. ●

Катарская компания QatarEnergy подписала с итальянской Eni договор купли-продажи сжиженного природного газа сроком на 27 лет. Объем поставок – до 1 млн т в год, СПГ будет поставляться на терминал на базе FSRU Italia в порту Пьямбино. Ожидается, что поставки начнутся с 2026 г.

Русал выкупит
30 %
китайского
металлургического
завода для обеспечения
поставок глинозема
Сделка оценивается
в **261,6 млн долл**

До **375** млн
тонн
может увеличиться
добыча угля в Сибири
к 2030 г.
Инвестиции в отрасль
превысят
586 млрд руб.

7,5 млрд
руб.
внесло
Мосэнерго
в Газпром энергохолдинг
индустриальные активы,
увеличив свою долю с **39,95%**
до **46,96%**

Газпром разместил
локальные
облигации
на **178** млн
евро

40 %
достигла доля российской
нефти в индийском импорте

На **24,4 %**
Китай
нарастил импорт
нефти из РФ
за 9 месяцев 2023 г.

На **26,3 %**
снизились
нефтегазовые
поступления в бюджет РФ
по сравнению с прошлым годом

Schlumberger в третьем
квартале увеличила
чистую прибыль
на **24 %**
а выручку – на **11 %**

До **200 %**
подняли тарифы на
природный газ в Пакистане
с 1 ноября 2023 г., что
должно увеличить доходы
государства
на **1,4** млрд долл

На **47 %**, до **6,2**
млн тонн
выросли поставки СПГ
из России в Китай в январе–
сентябре 2023 г.

На **30 %**
до **64,3** тыс. штук
вырос выпуск легковых
автомобилей в России в сентябре
по сравнению с августом

До **180** млн
тонн
планируют увеличить
мощность порта Усть-Луга
к 2030 г.

589,6
тыс. тонн
казахстанской
нефти
поставил
КазТрансОйл в Германию
за 9 месяцев 2023 г.

34,04
млрд руб.
составила чистая
прибыль компании
Русснефть за 9 месяцев 2023 г.

На **19,5 %**
до 15,3 млн т вырос экспорт
угля из России через сети
РЖД в сентябре

1,802
млн барр./сут
составил объем добычи
жидких углеводородов
в Норвегии в сентябре
2023 г.,
снизившись
на **10,5%**
месяцем ранее

На **9,9 %**
увеличилось
потребление
электроэнергии
в Китае в сентябре

На **11 %** до **19**
млрд м³
снизилось
потребление газа
в Евросоюзе

До **27** млн
долл.
выросли долги
потребителей
природного газа в Молдавии

На **2,3** долл.
повышена
экспортная
пошлина
на нефть с 1 ноября

ВЕРХНИЕ СТРОЕНИЯ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

Основные подходы к оптимизации массогабаритных характеристик

Каменский Глеб Андреевич

главный специалист,
ООО «РусГазШельф»

Резанов Константин Сергеевич

главный специалист,
ООО «Морнефтегазпроект»

Зубков Степан Константинович

техник,
НОЦ в сфере добычи нефти
«Газпромнефть – УГНТУ»

Дряхлов Вячеслав Сергеевич

главный специалист,
ООО «РусГазШельф»

Дадакин Никита Михайлович

руководитель проекта по разработке продуктов,
ООО «Газпромнефть НТЦ»



ПО ДАННЫМ RYSTAD ENERGY В 78,5% ОФШОРНЫХ ПРОЕКТОВ СТОИМОСТЬ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПРЕВЫШАЕТ СТОИМОСТЬ ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ. ОДНИМ ИЗ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ ЯВЛЯЕТСЯ УМЕНЬШЕНИЕ ЕГО МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК. АВТОРЫ ПРИВОДЯТ ДАННЫЕ ПО СООТНОШЕНИЮ СТОИМОСТИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ И ЕГО МАССЫ И РАССКАЗЫВАЮТ О ПУТЯХ ОПТИМИЗАЦИИ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНИХ СТРОЕНИЙ ПЛАТФОРМЫ

ACCORDING TO RYSTAD ENERGY, IN 78.5% OF OFFSHORE PROJECTS THE COST OF THE TOPSIDE FACILITIES EXCEEDS THE COST OF THE LOWER STRUCTURES OF OFFSHORE PLATFORMS. ONE OF THE MAIN WAYS TO REDUCE CAPITAL COSTS FOR THE CONSTRUCTION OF THE TOPSIDE FACILITIES IS TO REDUCE ITS WEIGHT AND SIZE CHARACTERISTICS. THE AUTHORS PROVIDE DATA ON THE RATIO OF THE COST OF THE TOPSIDE FACILITIES AND ITS WEIGHT AND TALK ABOUT WAYS TO OPTIMIZE THE WEIGHT AND SIZE CHARACTERISTICS OF THE PLATFORM'S TOP STRUCTURES

Ключевые слова: верхнее строение морской платформы, массогабаритные характеристики, оффшорный проект, буровой комплекс, оптимизация способов изготовления.

Стоимость верхнего строения (ВС) платформы зависит от региона строительства и выбора верфи-подрядчика, технологии производства работ, графика задействования персонала и техники, выбора поставщиков МТР. Одним из основных способов снижения капитальных затрат на строительство верхнего строения платформы является уменьшение его массогабаритных характеристик. На рисунке 1 приведены статистические данные по зависимости стоимости верхнего строения от его массы в тоннах для выборки из более 800 стационарных и плавучих платформ по всему миру. Коэффициент линейной корреляции Пирсона для выборки составляет 0,91, что говорит о сильной линейной взаимосвязи данных показателей. Коэффициент детерминации (r^2) для степенной аппроксимирующей функции составляет 0,94.

Сокращение массогабаритных характеристик ВС может быть достигнуто применением более современного компактного технологического оборудования, совершенствованием технологий проектирования и строительства, а также изменением самой концепции и функционала платформы. Тем самым возможно создать потенциал для достижения требуемых показателей экономической эффективности морских проектов.

ФАКТЫ Сокращение

массогабаритных характеристик ВС достигается применением компактного технологического оборудования, совершенствованием технологий проектирования и строительства, изменением самой концепции и функционала платформы

Цель исследования: сформировать основные подходы к оптимизации верхних строений морских нефтегазопромысловых платформ.

Задачи исследования:

- проанализировать состояние изученности вопросов оптимизации массогабаритных характеристик ВС;
- определить наиболее существенные критерии оптимизации;
- составить предварительный перечень способов оптимизации массогабаритных характеристик верхних строений МНГС.

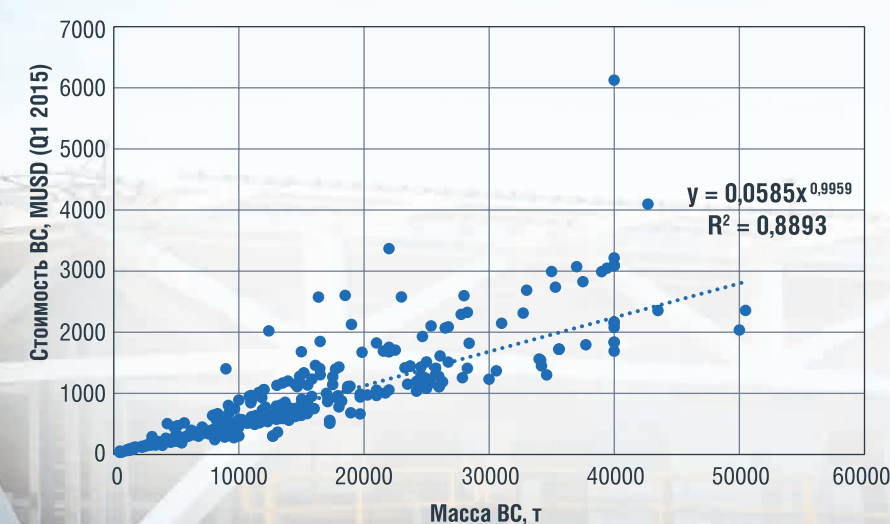
Состояние изученности вопроса

Вопросы разработки оптимальных конструкций морских нефтегазопромысловых сооружений в своих работах рассматривали Мирзоев Д.А., Богатырева Е.В., Никитин Б.А. [5], Мирзоев Ф.Д. [4], Бородавкин П.П. [2].

Бородавкин П.П. описывает подходы к проектированию компоновок верхних строений следующим образом, разделяя процесс на 7 шагов, включающих в себя составление технологической схемы, определение состава оборудования и систем с определением необходимых площадей для их размещения и оптимизацию расстановки [2].

В учебном пособии «Методика выбора основного варианта конструкции морских ледостойких платформ» Никитин Б.А., Мирзоев Д.А. и Богатырева Е.В. при выборе оптимального варианта конструкции платформы уделяют

РИСУНОК 1. Зависимость стоимости ВС от массы



особое внимание достаточности информации. Выбор оптимальной конструкции платформы, согласно данной методике, основывается на применении метода экспертных оценок [2, 4, 5].

Критерии оптимальности

Оптимизация подразумевает под собой процесс максимизации выгоды при минимизации расходов. Говоря об оптимизации, нельзя обойти стороной понятие критериев оптимизации, так как задача нахождения оптимального решения всегда должна решаться при заданных критериях.

К основным критериям оптимизации верхнего строения платформы могут относиться:

- функциональная эффективность;
- безопасность эксплуатации;
- экономическая эффективность.

Под функциональной эффективностью проектируемого объекта (платформы) понимается степень соответствия прогнозируемого результата использования этого объекта своему назначению – цели его создания. Процесс оптимизации верхнего строения морской платформы в процессе принятия проектных решений не должен приводить к изменению (в худшую сторону) ее функционала. Например, изменение конструктивного решения для бурового модуля не должно оказывать отрицательное влияние на темпы ввода скважин, разработку месторождения и т.п., а изменения в технологическом комплексе не должны повлечь за собой снижение качества подготовки продукции и так далее. Таким образом, одним из критериев оптимизации будет являться сохранение заданного функционала платформы.

Основным критерием оптимальности предлагаемых решений является экономическая эффективность, так как это ключевой показатель при принятии инвестиционных решений

Крайне важным аспектом является безопасность процесса эксплуатации морской платформы. Изменение конструктивных и компоновочных решений не должно повлечь за собой повышение промышленной опасности на объектах морского обустройства, в особенности в тех случаях, когда принимаемое решение противоречит существующей нормативно-законодательной базе и требует разработки и согласования специальных технических условий (СТУ). Таким образом, вторым критерием оптимизации будет являться безопасность эксплуатации предлагаемого технического решения.

Основным критерием оптимальности предлагаемых решений будет являться экономическая эффективность, так как именно этот показатель является ключевым при принятии инвестиционных решений. Стоит, однако, отметить, что количественно оценить экономическую эффективность оптимизационного решения можно только на примере конкретного проекта в рамках конкретной финансово-экономической модели.

ФАКТЫ Сохранение

заданного функционала платформы является одним из критериев оптимизации

Таким образом, оптимальным будет являться решение, позволяющее достичь наибольшего экономического эффекта при недопущении снижения функциональной эффективности и безопасности производственного объекта.

Влияние массогабаритных характеристик морских платформ на экономическую эффективность проектов обустройства

Экономическая эффективность проектов морских месторождений зависит во многом от капитальных затрат на строительство объектов обустройства, значительную часть которых составляют затраты на строительство морских стационарных платформ. Структура капитальных затрат на строительство верхнего строения платформы укрупненно может быть представлена следующим образом:

- проектно-изыскательские работы (инженерные изыскания, pre-FEED / ОТП, FEED / ПД);
- детальное проектирование (РКД);
- управление проектом и строительством;
- страхование;
- закупка материально-технических ресурсов (оборудование, материалы и т.п., включая логистику);
- модернизация/подготовка верфи;
- строительство (включая изготовление модулей, монтаж оборудования и трубопроводов и т.д.);
- пусконаладочные работы на верфи;
- интеграция с опорным основанием на верфи/в море;
- достроечные и пусконаладочные работы в море.

Изменение массогабаритных характеристик платформы оказывает наибольшее влияние на следующие позиции данной разбивки:

- ♦ **Закупка материально-технических ресурсов:**
- уменьшение массогабаритных характеристик платформы влечет за собой снижение массы

основных и второстепенных металлоконструкций, сокращение протяженности трубопроводов и кабелей, что снижает капитальные затраты на закупку соответствующих материалов;

- применение современного и компактного оборудования может повлечь за собой уменьшение количества закупаемых единиц оборудования, а также снизить затраты на единицу оборудования.

♦ **Строительство:** оценка стоимости строительства функциональных модулей морских нефтегазопромысловых платформ зачастую определяется через трудозатраты на строительство и удельную стоимость человека-часа по видам производимых работ. Для определения трудозатрат на строительство морских стационарных платформ в отечественной практике проектирования применяется руководящий документ «ГКЛП.3210-240-2006. РД. Плавучие и ледостойкие стационарные платформы. Нормативы трудоемкости постройки». Согласно представленной в документе методике, трудоемкость строительства по видам работ определяется исходя из нагрузки масс по позициям верхнего строения морской нефтегазопромысловой платформы через удельные трудоемкости по типам работ (механомонтаж, трубомонтаж, изготовление и т.п.). Таким образом, трудоемкость и, как следствие, стоимость строительных работ напрямую зависит от массы верхнего строения нефтегазопромыслового сооружения.

♦ **Интеграция верхнего строения и опорного основания:** в зависимости от типа опорного основания и массы верхнего строения могут быть рассмотрены различные способы и площадки их интеграции. Крупные и тяжелые верхние строения морской платформы могут создавать ограничения для совместной буксировки опорного основания и верхнего строения в сборе (стоит, однако, отметить, что способ транспортировки и установки платформы зависит не только от верхнего строения, но и от конфигурации опорного основания). Отдельная транспортировка верхнего строения и опорного основания и их интеграция наплаву или на точке эксплуатации требует привлечения большего количества флота и, как следствие, приводит к удорожанию морских операций.

При отказе от стационарного бурового комплекса в пользу бурения с привлечением СПБУ экономическая эффективность проекта возрастает за счет смещения затрат ближе к старту добычи и сокращения капитальных вложений

- ♦ **Модернизация/подготовка верфи:** строительство крупнотоннажных и крупногабаритных модулей верхнего строения морской стационарной платформы может потребовать существенной модернизации судостроительного предприятия в части наличия крытых цехов для сборки и окраски металлоконструкций, обеспечения достаточной несущей способности площадки, наличия грузоподъемной техники и плавтехсредств,

ФАКТЫ Масса

верхнего строения нефтегазопромыслового сооружения определяет трудоемкость и стоимость строительных работ

а также наличия достаточных площадей крытого хранения МТР. Снижение массы и размера верхнего строения платформы позволяет расширить диапазон рассматриваемых для строительства верфей и потенциально исключить или сократить их дорогостоящую модернизацию (однако стоит отметить, что в той же мере требования к модернизации судостроительных мощностей зависят от выбранного способа строительства).

Конечно, перечисленный выше список не является исчерпывающим, так как размерные характеристики верхнего строения МНГС оказывают комплексное влияние на весь инвестиционный цикл обустройства месторождения, на данном этапе задача состоит в освещении наиболее крупных и существенных статей затрат.

Выше изложены основные статьи затрат, на которые оказывает влияние оптимизация массогабаритных характеристик верхнего строения платформы. Далее стоит перейти к тому, за счет чего возможно этого достичь.

Основные пути оптимизации массогабаритных характеристик верхних строений платформы

В процессе исследования предварительно были выделены следующие пути оптимизации верхних строений морских нефтегазопромысловых платформ:

- оптимизация бурового комплекса;
- оптимизация технологического комплекса платформы;
- оптимизация модуля хранения и отгрузки углеводородов;
- оптимизация жилого модуля платформы;
- оптимизация средств доставки персонала и грузов на платформу;
- выбор оптимальной технологии строительства верхнего строения платформы;
- отказ от определенных систем платформы с разработкой и согласованием СТУ;
- серийное производство унифицированных модулей ВС.

Оптимизация бурового комплекса платформы

Стационарный буровой комплекс является одним из самых крупных и дорогостоящих модулей, размещаемых на верхних строениях МНГС (может достигать массы более 5 тыс. тонн). Предварительно в качестве оптимизационных решений может быть рассмотрено изменение технического решения для проведения буровых на:

- кантилеверное бурение с СПБУ;
- применение модульных буровых установок.

Основным преимуществом отказа от стационарного бурового комплекса в пользу бурения с привлечением СПБУ является значительное снижение капитальных затрат на строительство платформы. Капитальные затраты на строительство буровой установки трансформируются в затраты на фрахт СПБУ, осуществляемый на гораздо более поздней стадии обустройства. Таким образом, за счет смещения затрат ближе к старту добычи и сокращения капитальных вложений экономическая эффективность проекта значительно возрастает. Однако данный способ имеет ряд ограничений, связанных прежде всего с природно-климатическими условиями и глубиной моря в точке постановки платформы.

Применение модульных буровых установок сочетает в себе преимущества СПБУ в части трансформации CAPEX в OPEX, при отсутствии недостатков с точки зрения применимости. Модульная буровая установка монтируется на верхнем строении МНГС, после окончания буровых работ производится ее демонтаж. Кроме того, к преимуществам применения можно отнести компактность и меньшее число привлекаемого в процессе бурения персонала в сравнении с СПБУ. По результатам технико-экономических расчетов, представленных в [3], применение модульных буровых установок эффективнее строительства стационарного бурового модуля в следующих случаях:

- при длительности программы бурения до трех лет, если принята ставка дисконтирования 10%;
- при длительности программы бурения до 7 лет, если принята ставка дисконтирования 15%;
- при неограниченной длительности программы бурения, если принята ставка дисконтирования 20% [3].

Оптимизация технологического комплекса платформы

Массогабаритные характеристики технологического комплекса в составе платформы могут быть значительно сокращены за счет:

- компоновки технологического и вспомогательного оборудования по скидам;
- применения современных, более компактных моделей оборудования;
- переноса части функционала комплекса на береговую инфраструктуру;
- совершенствования традиционных технологических схем подготовки продукции;
- изменения схем расположения оборудования на палубах верхнего строения.

ФАКТЫ

Массогабаритные характеристики

верхних строений МНГС зависят от способа изготовления – модульное, крупномодульное или интегрированное строительство

Одним из оптимизационных решений, уже нашедших применение на морских платформах, является установка двух компрессорных модулей на одном рабочем валу по формату «спина к спине». Данный способ позволяет значительно сократить занимаемые компрессорами площади.

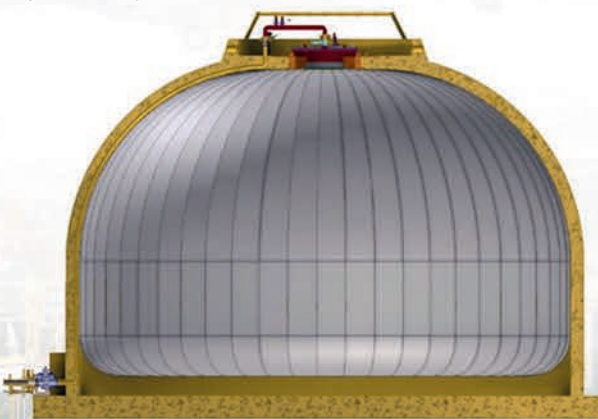
Оптимизация модуля хранения и отгрузки

Верхние строения морских платформ, функционал которых подразумевает хранение жидких углеводородов, имеют в своем составе вспомогательные системы, обеспечивающие работу системы хранения, например – система очистки маслонефтепродукта для реализации «мокрого» хранения (пример: МЛСП Приразломная).

Совершенствование способов хранения углеводородов может позволить оптимизировать состав вспомогательных систем. В качестве одного из вариантов может быть рассмотрено применение эластичных резервуаров для хранения жидких углеводородов без разделительной среды (будь то вода или инертный газ), описанное в работе [1]. Данная концепция предполагает размещение под водой на морском дне или непосредственно в корпусе опорного основания полусферических резервуаров из полимерного материала.

При откачке из хранилища нефти освободившийся в полусфере объем заполняется морской водой. Нефть и морская вода при этом разделены непроницаемой тонкостенной мембраной.

РИСУНОК 2. Подводный резервуар разделенного хранения нефти



Данный тип хранения обеспечивает значительное сокращение массы трубопроводов вспомогательных систем на верхнем строении МНГС, а также позволяет отказаться от технологических систем, которые размещаются на верхнем строении при реализации сухого/мокрого способов хранения.

Оптимизация жилого модуля

Разработка подходов к оптимизации количества обслуживающего персонала на платформе, автоматизация технологических процессов может создать потенциал к сокращению массогабаритных характеристик жилого модуля МНГС.

Отдельно стоит отметить, что массогабариты жилых модулей платформ зависят не только от вместимости и количества койко-мест, но и от «уровня комфорта», т.е. количества человек в каюте. В российской практике жилые модули платформ предусматривают двухместные каюты для большей части рабочего персонала и несколько одноместных кают для руководящего состава. Однако в мире применяются как одноместные, так и четырехместные каюты для размещения персонала платформы.

Ввиду невысокой степени насыщения жилого модуля оборудованием и системами, а также малой массы переменных грузов металлоконструкции жилых модулей последнее время зачастую изготавливаются из алюминия вместо стали, что позволяет существенно сокращать массу ЖМ при сохранении общей площади жилых / бытовых помещений.

Оптимизация средств доставки грузов и персонала

Одним из потенциальных вариантов оптимизации ВС может являться отказ от вертолетной площадки. Доставка персонала на платформу может осуществляться судами снабжения, оснащенными системой walk-to-work. Данная система представляет собой переходный мост с системой компенсации вертикальной качки.

Оптимизация состава систем верхнего строения

Сокращение массогабаритных характеристик МНГС также может быть достигнуто за счет исключения определенных систем из состава верхнего строения. Стоит, однако, учесть, что принятие подобных решений возможно только при проведении тщательного анализа вопросов безопасности платформы, а также при разработке и согласовании специальных технических условий.

Оптимизация способов изготовления

Массогабаритные характеристики верхних строений МНГС зависят не только от состава и компоновки оборудования, но и от способа изготовления – модульное, крупномодульное или интегрированное строительство. Однако стоит отметить, что способ строительства оказывает влияние не только на размер сооружения, но и на сроки его строительства, что также влияет на стоимость МНГС. Данный вопрос требует отдельной проработки в области оценки и сравнения эффектов от увеличения скорости строительства и уменьшения массогабаритных характеристик ВС.

Заключение

Главным целевым показателем при обустройстве месторождений углеводородов, будь то шельфовые или наземные участки, является экономическая эффективность проекта. Обустройство морских месторождений является крайне капиталоемкой и технически сложной задачей, в связи с чем вопросы поиска рациональных технических решений не теряют своей актуальности.

Целью данного исследования являлось определение основных подходов к оптимизации верхних строений морских платформ. Для решения поставленной цели в рамках данной работы:

- проведен анализ отечественных и иностранных исследований по вопросу проектирования оптимальной конструкции МНГС;
- проведена качественная и статистическая оценка влияния массогабаритных характеристик ВС МНГС на стоимость строительства;
- разработан предварительный перечень оптимизационных решений для верхних строений МНГС. ●

Литература

1. Бесхижко Ю.В., Бесхижко В.В., Ермаков А.И. Оптимизация архитектуры системы объектов добычи углеводородов с использованием подводных добычных комплексов. Частный случай. PRONEFTЬ. Профессионально о нефти. 2022; 7(3): 96–105.
2. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: Учебник для вузов. Часть 1. Конструирование / П.П. Бородавкин – М: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.
3. Каменский Г.А., Резанов К.С., Зубков С.К., Дряхлов В.С. Модульные буровые установки для повышения эффективности добычи на шельфе. Деловой журнал Neftegaz.RU, 1 (133), 2023, с. 46–51.
4. Мирзоев Д.А. Основы морского нефтегазопромыслового дела: В 2 томах. – Т. 2: Морские нефтегазопромысловые инженерные сооружения – объекты обустройства морских месторождений: Учебник. – М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. – 286 с.
5. Никитин Б.А., Мирзоев Д.А., Е.В. Богатырева Методика выбора основного варианта конструкции морских ледостойких платформ: Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа, 2005 – 21 с.

KEYWORDS: the upper structure of the offshore platform, weight and size characteristics, offshore project, drilling complex, optimization of manufacturing methods.

ИНГОССТРАХ
Просто быть уверенным

ИНГОССТРАХ
Просто быть уверенным

Страхование ПЛАРН

Финансирование мероприятий, предусмотренных
**планом предупреждения и ликвидации
разливов нефти и нефтепродуктов**

- Соответствие требованиям Росприроднадзора и статье 46 ФЗ № 7 «Об охране окружающей среды»
- Индивидуальные программы страхового покрытия



Подробная информация
по QR-коду или
на сайте ingos.ru

ОГРН 1027739362474. 115035, г. Москва, ул. Пятницкая, д. 12, стр. 2.
СПАО «Ингосстрах». Лицензии ЦБ РФ СИ № 0928, СЛ № 0928, ОС № 0928-03,
ОС № 0928-04, ОС № 0928-05, ПС № 0928 от 23.09.2015. Реклама.

ОГРН 1027739362474. 115035,
г. Москва, ул. Пятницкая, д. 12, стр. 2.
СПАО «Ингосстрах». Лицензии
ЦБ РФ СИ № 0928, СЛ № 0928,
ОС № 0928-03, ОС № 0928-04,
ОС № 0928-05, ПС № 0928
от 23.09.2015. Реклама.

ingos.ru
8 495 234 36 23
osoo@ingos.ru

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ ЛЕДОВИТЫХ МОРЕЙ

Научная школа гидротехники ДВФУ

**Беккер
Александр Тевьевич**
профессор, д.т.н.

**Уварова
Татьяна Эриковна**
профессор, д.т.н.

**Цуприк
Владимир Григорьевич**
профессор, д.т.н.

**Помников
Егор Евгеньевич**
профессор, к.т.н.

**Шмыков
Алексей Александрович**
старший преподаватель

**Сабодаш
Ольга Алексеевна**
доцент, к.т.н.

Департамент морских
арктических технологий,
Политехнический институт,
Дальневосточный
федеральный университет

ПРОБЛЕМА РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ОСОБЕННО НА МОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ (МНГС) НА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ШЕЛЬФАХ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО МОРЯ ВОЗНИКЛА В СВЯЗИ С НАЧАЛОМ ОСВОЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЛЕДОВИТЫХ МОРЕЙ. ДРЕЙФУЮЩИЙ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ЯВЛЯЕТСЯ ГЛАВНЫМ СДЕРЖИВАЮЩИМ ФАКТОРОМ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ В ЛЕДОВИТЫХ МОРЕХ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ, НА ШЕЛЬФАХ КОТОРЫХ ОТКРЫТЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ЕСЛИ В НЕЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЕХ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТИРУЕТСЯ БОЛЕЕ 9000 НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ, ТО В ЛЕДОВИТЫХ МОРЕХ – НЕСКОЛЬКО ДЕСЯТКОВ МНГС. В СТАТЬЕ ПРИВЕДЕНА ИНФОРМАЦИЯ О НАУЧНОЙ ШКОЛЕ МОРСКОЙ ГИДРОТЕХНИКИ, КОТОРАЯ ВНЕСЛА ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ЗНАНИЙ О СВОЙСТВАХ МОРСКОГО ЛЬДА, КАК ПРИРОДНОГО, ТАК И КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, О ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ СРЕДОЙ, ФОРМИРУЮЩЕЙ ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МНГС, А ТАКЖЕ О ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ НОВЫХ ЛЕДОСТОЙКИХ МНГС

THE PROBLEM OF CALCULATING ICE LOADS AND IMPACTS ON HYDRAULIC STRUCTURES AND ESPECIALLY ON MARINE OIL AND GAS STRUCTURES (MOGS) ON CONTINENTAL SHELVES IN OPEN SEA CONDITIONS AROSE IN CONNECTION WITH THE BEGINNING OF HYDROCARBON RESOURCES DEVELOPMENT IN THE ARCTIC SEAS. DRIFTING ICE COVER IS THE MAIN LIMITING FACTOR FOR THE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS INDUSTRY IN THE ARCTIC SEAS OF THE ARCTIC AND SUBARCTIC; PROMISING OIL AND GAS FIELDS HAVE BEEN DISCOVERED ON THEIR SHELVES. WHILE MORE THAN 9,000 OIL PRODUCTION PLATFORMS ARE CURRENTLY OPERATING IN ICE-FREE SEAS, THERE ARE SEVERAL DOZEN MOGS IN THE ARCTIC SEAS. THE ARTICLE PROVIDES INFORMATION ABOUT THE SCIENTIFIC SCHOOL OF MARINE HYDRAULIC ENGINEERING, WHICH HAS MADE A CERTAIN CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE ABOUT THE PROPERTIES OF SEA ICE, BOTH NATURAL AND STRUCTURAL MATERIAL; ABOUT THE ICE COVER, WHICH IS THE ENVIRONMENT THAT FORMS ICE LOADS AND IMPACTS ON THE MOGS; AS WELL AS ABOUT THE PROBLEM OF DEVELOPING DESIGNS OF NEW ICE-RESISTANT MOGS

Ключевые слова: ледовая нагрузка, морская ледостойкая платформа, гидротехническое сооружение, континентальный шельф, освоение шельфовых месторождений.

УДК 626

Научная школа морской гидротехники на Дальнем Востоке зародилась в 60-х годах прошлого века по инициативе д.г.н., профессора Стаценко Алексея Васильевича. А в связи с зарождающейся новой, морской нефтегазовой отраслью на Тихоокеанском и Арктическом бассейнах его ученик, д.т.н., профессор Храпатый Николай Григорьевич в 70-х годах стал инициатором нового научного направления «Ледотехника и ледовые нагрузки и воздействия на МНГС».

В период с 1970 по 1992 гг., в том числе по заказам компании «Сахалиннефтегазпром», научный коллектив, один из первых, выполнил комплекс теоретических и экспериментальных исследований свойств морского льда, процессов его разрушения и формирования нагрузок на сооружения, а также первые разработки конструкций МНГС для условий Охотского моря и технологий их изготовления, транспортировки и установки в проектное положение на шельфе.

В 2000-х годах проблема освоения нефтегазовых ресурсов на шельфе Охотского моря перешла в стадию реализации, появились первые реальные проекты обустройства месторождений нефти и газа и конструкции МНГС. Новый импульс получили исследования научного коллектива: результаты фундаментальных и прикладных исследований коллектива были реализованы при проектировании и создании защитного пояса от ледовых истирающих воздействий платформы «Беркут» проекта «Сахалин-1». Кроме того, члены коллектива участвовали в длительных арктических экспедициях в море Лаптевых и на северо-восточном побережье Охотского моря по исследованиям ледяных образований, свойств морского льда. Были проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию оптимальных конструктивных решений мобильных разведочных платформ для арктических условий, исследований проблем ледового истирания материалов конструкций МНГС [1–3, 5, 10, 11], исследований по разработке модифицированного льда для строительства автозимников, ледовых переправ и морских ледяных сооружений.

Научный коллектив Департамента морских арктических технологий

Политехнического института ДВФУ продолжает проводить систематические теоретические и экспериментальные [6, 12, 18], в том числе экспедиционные [16, 17], исследования физических и механических свойств морского льда [4], морфологических параметров ледяных образований, процессов разрушения ледяных образований при воздействии на МНГС и формирования ледовых нагрузок [6], разрабатывает новые конструкции мобильных [9] и стационарных МНГС для условий Арктики.

Далее приводится краткий обзор основных направлений научно-исследовательской деятельности коллектива в области полновѣроятностных расчетов ледовых нагрузок и воздействий на МНГС; оценки экстремальных ледовых нагрузок на МНГС; исследований сопротивления строительных материалов истирающему воздействию льда; численного моделирования формирования ледовых нагрузок; оценки динамического воздействия льда на МНГС; исследования ледостойких технических средств для разведочного бурения в Арктике; подготовки научных кадров.

Методология полновѣроятностных расчетов ледовых нагрузок и воздействий на МНГС

Ледостойкие МНГС являются уникальными гидротехническими сооружениями, аварии которых могут привести к масштабным природным катастрофам. Поэтому их проектирование должно основываться на методах теории надежности.

Дрейфующий ледяной покров – это природное явление, характеризующееся высокой степенью пространственно-временной изменчивости, имеющей сугубо случайный характер. С позиций оценки ледовых нагрузок ледовый режим морских акваторий характеризуется следующими основными параметрами: сплоченность ледяного покрова, морфологические характеристики ледяных образований (форма и размеры), кинематические характеристики ледяных образований (направление и скорость дрейфа), свойства льда (физические – структура,

плотность, содержание жидкой фазы, температура; механические – анизотропия, модуль деформаций и коэффициент Пуассона, прочностные).

Изменчивость основных параметров ледового режима характеризуется следующими временными масштабами: многолетний, сезонный и локальный, который определяется случайным процессом разрушения ледяных образований на контакте с МНГС.

Для полного вероятностного математического описания процессов формирования ледовых нагрузок и воздействий были разработаны несколько математических моделей, основанных на многолетних результатах натурных исследований ледового режима морских акваторий [14]:

- модель дрейфа ледяного покрова, учитывающая сплоченность, морфологию ледяных образований, учитывающая многолетний и сезонный масштабы изменчивости параметров;
- модели процессов разрушения различных ледяных образований (торосов, ровных полей, битого льда) на контакте с МНГС и формирования ледовых нагрузок и воздействий;
- модель определения прочностных параметров морского льда как функций хода температур атмосферы, толщины снежного покрова и содержания жидкой фазы;
- модели распределения давлений и относительной скорости взаимодействия по площади контакта;
- имитационная модель, объединяющая вышеперечисленные математические модели в единый комплекс по моделированию всех основных процессов для расчета вероятностного распределения ледовых нагрузок и воздействий на МНГС.

Основой полного вероятностного моделирования является процесс формирования расчетных ситуаций с помощью генератора случайных переменных – параметров ледового режима – в соответствии с их распределениями. Для каждой расчетной ситуации выполняется детерминированное моделирование процессов формирования нагрузок и воздействий с помощью вышеперечисленных моделей.

Входными параметрами являются вероятностные распределения параметров ледового режима, а выходными параметрами являются вероятностные распределения ледовых нагрузок и воздействий, которые могут использоваться как для оценки надежности МНГС на постепенный отказ (на ледовое истирание, на усталость материала конструкции), так и на внезапный отказ от действия ледяного поля редкой повторяемости.

В процессе моделирования задается случайное распределение ледяных образований в плане, что позволяет учесть случайный характер их планового расположения. Начальные координаты центра области возможного расположения ледяного образования определяются после генерации параметров ледового режима в расчетной ситуации. В результате определяются параметры пространственного расположения ледяных образований относительно сооружения.

Используя полученные статистические данные о любом выходном параметре, при необходимости можно оценить его основные статистические характеристики и определить его обеспеченность. Таким образом, чем больше реализаций входных параметров можно получить, тем больше статистических данных накапливается и о выходном параметре.

Вероятностная модель генерации параметров ледового режима позволяет случайным образом назначить сочетания исходных данных, рассчитать соответствующие им выходные параметры ледовых истирающих воздействий и, как результат, определить их законы статистического распределения. Сочетания входных параметров выбираются случайным образом в пределах возможной области их существования за длительный срок (например, 10 000 лет), значительно превышающий срок эксплуатации сооружения. Для каждого сочетания исходных данных (для каждой ситуации) параметры ледовых воздействий вычисляются по математическим моделям механического взаимодействия ледяного образования с сооружением.

На основе накопленных статистических данных результатов расчета по каждому выходному параметру определяются их вероятностные распределения,

по которым в итоге можно определить параметры любой заданной повторяемости (например, 1 раз в 100 лет).

Описание моделей подробно изложено в статьях А.Т. Беккера (2004, 2010, 2011, 2012) и Т.Э. Уваровой (2014).

Сценарии формирования экстремальных ледовых нагрузок от крупных ледяных образований и их сочетаний

Формирование экстремальных ледовых нагрузок на ледостойкие МНГС должно рассматриваться с позиций анализа возможной реализации различных расчетных ситуаций с дрейфующими ледяными образованиями и их сочетаниями. Можно выделить наиболее вероятные и опасные сценарии воздействия ледяного образования с МНГС:

- воздействие на сооружение дрейфующего отдельного торосистого образования – энергетическая модель частичного разрушения тороса [13, 8];
- воздействие на сооружение дрейфующего смерзшегося с крупным ледяным полем торосистого образования – модель полного разрушения тороса;
- воздействие остановившегося у сооружения одного или нескольких ледяных образований. При этом возможны следующие расчетные случаи:
расчетный случай 1 – на остановившийся у сооружения торос воздействуют нагрузки от ветра и течения;
расчетный случай 2 – на систему «остановившийся торос и ледяное поле» воздействуют нагрузки от ветра и течения;
расчетный случай 3 – на остановившийся у сооружения торос воздействуют дрейфующие торосы;
расчетный случай 4 – на остановившийся у сооружения торос воздействует паковый лед.
- воздействие дрейфующего гигантского ледяного поля редкой повторяемости на сооружение.

Для каждого расчетного случая разработаны математические модели формирования нагрузок на МНГС, которые основаны на феноменологических расчетных схемах разрушения ледяных образований.

Основой алгоритма расчета вероятностных характеристик экстремальных ледовых нагрузок на МНГС является метод Монте-Карло. В результате моделирования методом статистических испытаний определяются вероятностные распределения ледовых нагрузок на сооружение для соответствующего расчетного случая.

Сопротивление материалов конструкций МНГС истирающему воздействию дрейфующего ледяного покрова

Проблема истирающих воздействий на материалы конструкций была известна еще при строительстве мостов через сибирские реки. Однако она снова обострилась при строительстве сооружений в открытых акваториях с высокой динамикой дрейфующего ледяного покрова. Поэтому углубленное исследование этого явления является актуальной проблемой и в настоящее время. При этом надо учитывать, что процесс разрушения материала конструкции происходит постепенно в течение всего срока эксплуатации сооружения. Для решения проблемы потребовалось выполнить исследования и найти решения для двух задач:

- ледовые истирающие воздействия в контактной зоне системы «лед-сооружение» [1];
- сопротивление конструкционных материалов ледовому истиранию, а также их взаимосвязь [2, 5, 18].

Первая задача направления успешно решена на основе разработанной методики полновозрастного моделирования процесса взаимодействия ледяного покрова с МНГС за весь период эксплуатации [14].

Решение второй задачи было достигнуто разработкой специальной методики экспериментальных исследований сопротивления материалов ледовому истиранию.

Методика включает следующие разработки:

- алгоритм расчета глубины истирания [10, 11, 14];
- компьютерная программа [3];
- специальный стенд для испытаний материалов на истирание (см. рис. 1);
- технология испытаний и обработки результатов [2, 5, 12].

РИСУНОК 1. Испытательный стенд на истирание материалов льдом

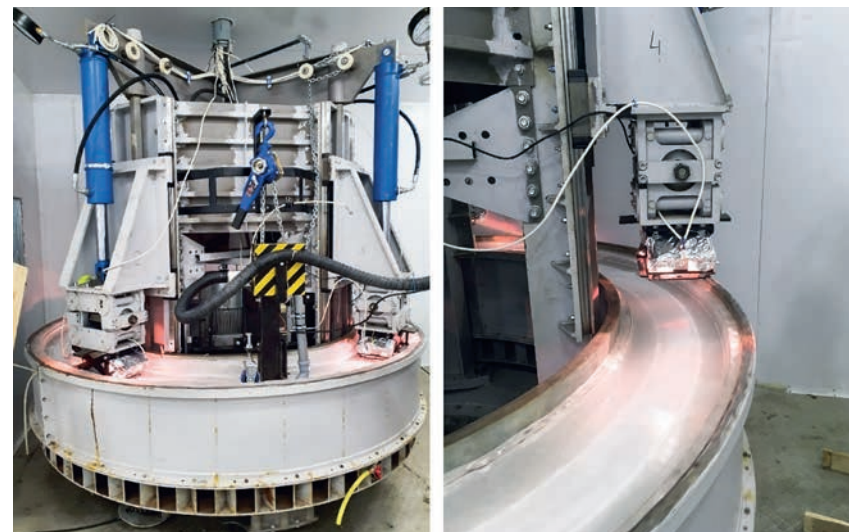


РИСУНОК 2. Истертые образцы бетона (а) и оцифрованная истертая поверхность по результатам испытания (б) [12]



Разработанные математические модели и методика испытаний были верифицированы путем сравнения результатов натурных измерений (в течение 44 лет) глубины ледового истирания бетона на трех финских маяках в Ботническом заливе [1] с рассчитанной глубиной истирания, определенной по разработанной общей методике со следующими исходными данными:

- результаты испытаний на стенде бетонных образцов, изготовленных из выбуренных из оснований маяков кернов [1];

- параметры ледового режима Ботнического залива в месте расположения маяков.

Результаты научно-исследовательской работы [1, 2, 3] были реализованы при проектировании и строительстве бетонного основания гравитационного типа (БОГТ) для МНГС «Беркут» проекта «Сахалин-1» в 2012 году (см. рис. 3).

Разработанная методика оценки глубины ледовой абразии была также применена для оценки степени сопротивления бетона

БОГТ наплавных заводов сжижения природного газа проекта «Арктик СПГ-2», которые возводятся в Мурманске и устанавливаются в Обской губе [15]. По результатам исследований определена глубина истирания защитного слоя бетона и выполнена оценка возможности наступления постепенного отказа наплавных конструкций заводов СПГ (см. рис. 4).

Численное моделирование процессов формирования ледовых нагрузок и воздействий на МНГС

Ледовые нагрузки на МНГС на практике формируются в процессе разрушения ледяных образований. Учитывая сложность описания процессов разрушения морского льда, такие уникальные сооружения, как МНГС, при проектировании обязательно испытываются на моделях в крупных ледовых бассейнах. В связи с высокой стоимостью таких испытаний важное значение приобретают и развиваются методы численного моделирования процессов разрушения льда и формирования ледовых нагрузок, которое является одним из основных направлений исследований научной школы в настоящее время.

Природный морской лед – еще далеко недостаточно изученный природный материал, имея кристаллическую структуру, содержит большое количество включений и многочисленные нарушения сплошности: в виде субмикро- и микродефектов, крупных трещин и пор. Поэтому в строго научном толковании канонов теории упругости морской лед не совсем идентифицируется с деформируемым твердым телом в части сплошности и

РИСУНОК 3. БОГТ МНГС «Беркут» в сухом доке и в проектном положении на шельфе Охотского моря



РИСУНОК 4. Наплавной гравитационный опорный блок проекта «Арктик СПГ-2»



непрерывности. Основная особенность морского льда, по сравнению с другими материалами, состоит в его существовании в природе при температуре, близкой к температуре его фазового перехода в жидкую субстанцию. Прочность морского льда напрямую зависит от особенностей его структуры и текстуры, на формирование которых оказывают определяющее влияние не только солёность морской воды, ветер, течения, но в первую очередь – температура и влажность воздуха. Это объясняет ряд его механических уникальных свойств, в частности низкий предел упругости, очень *широкий диапазон реологического поведения* в зависимости от его температуры и длительности нагружения: от вязкого течения до практически абсолютно хрупкого разрушения.

Поэтому адекватное описание процессов деформирования морского льда и его разрушения при воздействии на сооружение – достаточно сложная, но актуальная задача.

Молодые ученые коллектива активно подключились к проблеме поиска оптимальной конституционной модели морского льда и критериев его разрушения. С этой целью выполняются теоретические [6] и экспериментальные исследования.

Энергетический подход к описанию колебаний МНГС при циклическом разрушении льда

Формирование периодически повторяющихся силовых воздействий дрейфующих ледяных

полей на морские нефтегазовые сооружения (МНГС) является следствием циклического процесса сжатия и разрушения локального объема массива льда в контактной зоне ледового поля с сооружением в результате достижения в напряженном объеме льда предельных значений его прочности.

Кинетический подход к описанию данного явления более приемлем, поскольку разрушение льда есть результат развития, накопления и слияния повреждений, трещин, пор и других дефектов кристаллической структуры льда, имеющей к тому же и солевые прослойки между стенками кристаллов самой разнообразной формы, от столбчатых до зернистых. В то же время осуществить реализацию такого подхода на отрезке короткого промежутка времени одного цикла разрушения образца льда можно, приложив массу усилий на такое исследование для конкретных типа льда и скорости его разрушения.

Но это практически невозможно применить для описания полного комплекса реальных процессов

контактного разрушения льда на опоре для условий открытого моря.

Учитывая описанные сложности и противоречия, в проводимых исследованиях была использована механическая концепция явления контактного взаимодействия сооружения с ледовым полем, но для этого был использован *энергетический подход* для описания процесса разрушения льда. Переток части кинетической энергии ледового поля в энергию комплексного разрушения льда в его ограниченном объеме на контакте с поверхностью опоры МНГС вычисляется с использованием первого закона термодинамики.

Такой выбор был обусловлен в результате выполненного практически полного (за исключением атомно-молекулярного уровня) анализа наблюдаемых в реальных процессах взаимодействия льда с сооружениями механизмов разрушения льда, показавший не только их большое разнообразие, но и одновременность в совокупности с последовательностью их абсолютно хаотичного протекания. Учитывая комплексность процесса разрушения льда, условия его протекания и составляющих его субпроцессов разрушения различной природы, на основании теоретического решения модели динамического внедрения индентора в массив льда было предложено использовать единый для такого комплексного процесса разрушения льда критерий его разрушения – удельную плотность энергии объемного упругого деформирования льда, предельное эффективное значение которой, по аналогии с критерием Гриффитса для плоской задачи, инициирует процесс объемного разрушения льда.

В результате многолетней теоретической и экспериментальной исследовательской деятельности

по решению задач с целью создания адекватного расчетного метода получения параметров цикличности ледовой нагрузки на МНГС выработалось однозначное понимание необходимости применения для этого системно-методологического подхода. Так была создана новая в рассматриваемой области и описанная в монографии Цуприка В.Г. [19] методология определения параметров цикличности ледовой нагрузки на морские ледостойкие сооружения. Это комплекс результатов в виде целостной логически построенной системы обеспечения надежности определения параметров циклической ледовой нагрузки на шельфовые сооружения с вертикальными опорами и процессом ее осуществления во временной последовательности. В состав комплекса включены: расчетная модель послыного циклического разрушения льда; энергетический критерий динамического разрушения льда; метод выбора формы и размеров образцов; способ испытания образцов для получения значений критерия разрушения; метод валидации полученных результатов по данным обработки цифровых записей рядов значений параметров испытаний на прорезание ледового покрова опорами сооружений, а также метод обработки результатов динамических испытаний больших образцов для получения параметров цикличности ледовой нагрузки, которые должны использоваться для выполнения динамического расчета проектируемых сооружений на постепенный отказ и возможность резонанса с нагрузкой.

Ледостойкие технические средства для разведочного бурения на шельфах ледовитых морей и оценка продолжительности их безопасной эксплуатации

Применение трех наиболее распространенных видов не ледостойких мобильных буровых установок¹ (МБУ) в зонах распространения ледяного покрова в Арктике ограничено коротким физическим навигационным периодом. За этот период можно успеть выполнить бурение не более чем одной морской скважины, что не эффективно, т.к. на многие годы затягивает период выполнения

геолого-разведочных работ. По этой причине возникает необходимость в поиске более эффективных технических решений, позволяющих выполнять бурение в условиях воздействия льда.

Перед нефтегазовой индустрией и наукой встает проблема разработки новых архитектурно-конструкторских решений (АКР) для разведки на углеводороды, которые учитывали бы специфику природных условий континентального шельфа России в Арктике. Это прежде всего ледовый режим акватории и инженерные геологические условия, осложненные большой мощностью слабых осадочных грунтов литогенного происхождения, выносимых крупными сибирскими реками.

Невозможность применения искусственных островов на большей части континентального шельфа делает наиболее перспективным направлением развития ледостойких мобильных буровых установок (ЛМБУ).

Для разведочного бурения на континентальном шельфе в новых для буровой индустрии природных условиях в качестве наиболее перспективным направлением развития морской буровой техники исследователи теоретически выделяют применение погружных ЛМБУ в виде ПБУ и СПБУ. Последние являются наиболее перспективными с точки зрения охвата глубин и минимизации зоны контакта со льдом во время выполнения бурения, но менее – с точки зрения контакта с грунтовым основанием.

Для остальной части акватории за континентальным шельфом наиболее перспективным направлением является применение плавучих ЛМБУ в виде ППБУ и БС. Для работы в условиях воздействия ледяного покрова наиболее перспективными являются осесимметричные ППБУ.

Перечисленные виды МБУ имеют свою область применения в зависимости от факторов природной среды. Масса и габариты каждого из видов сооружения значительно меняются в зависимости от уровня величины воспринимаемых горизонтальных нагрузок от ледяных образований.

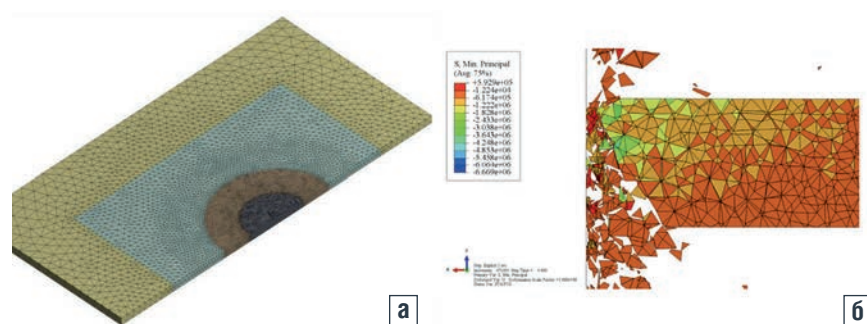
Мнение исследователей разделилось: разрабатывать ли новые АКР универсальными и массивными для круглогодичного

применения по аналогии с волноустойчивыми АКР или же ограничивать из применение заранее заданным уровнем ледовой нагрузки, т.е. разрабатывать не круглогодичные АКР.

Оба направления обладают своими очевидными преимуществами и недостатками. Первое направление позволяет вести работы круглогодично, но предусматривает массивные сооружения, имеющие низкую мобильность. Второе – позволяет создавать менее массивные сооружения, но ограничивает их использование в течение года моментом наступления заранее определенного уровня мощности ледяного покрова. Задача выбора более эффективного направления является не тривиальной, что требует проведения специальных исследований.

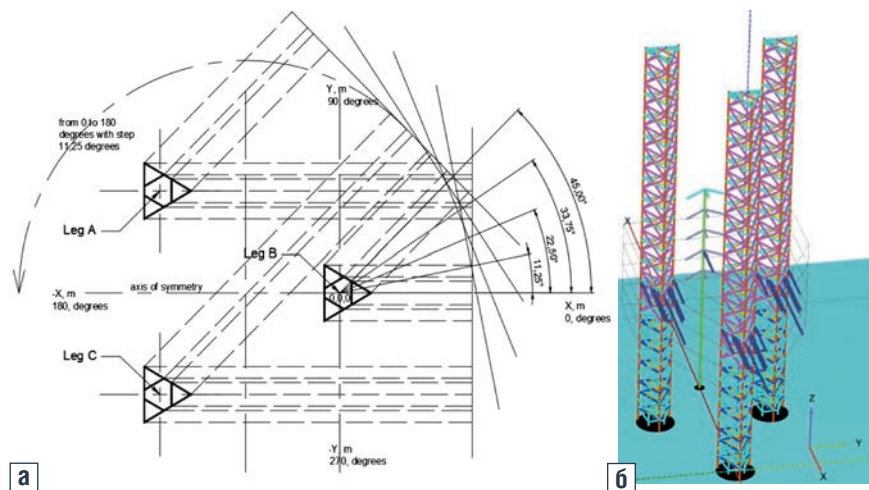
Исследования эффективных технических средств для разведочного бурения в условиях Арктики, основанные на методах теории надежности, численном моделировании и верификации с помощью экспериментальных исследований в крупномасштабном ледовом бассейне, являются одним из приоритетных направлений исследований научного коллектива. Были проведены модельные испытания трех основных видов МБУ в ледовом опытовом бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Даны рекомендации по технологии обеспечения бурения в ледовых условиях для платформ с цилиндрической и корабельной формой корпуса, продлению бурового сезона с учетом технических решений для платформ. Впервые в отечественной практике разработанная технология была апробирована на примере морских лицензионных участков в российской Арктике, что позволило определить технические требования к морским сооружениям для обширных акваторий российской Арктики на основе использования значительного объема данных об окружающей среде, полученных в экспедиционных исследованиях [16, 17]. Разработанная технология позволила выбрать более эффективные виды АКР мобильных

РИСУНОК 5. Конечно-элементная модель ледового поля и результат моделирования на 4 секунде взаимодействия модели поля с гранью циркульного очертания [8]



¹ ПБУ – погружная буровая установка, СПБУ – самоподъемная буровая установка, БС – буровое судно.

РИСУНОК 6. Направления приложения нагрузок (а) от ровных полей льда на опоры СПБУ в конечно-элементной модели (б) системы «сооружение-основание» [9]



буровых установок с точки зрения отклика на воздействие ледяного покрова.

Кроме того, для решения проблемы адаптации таких сооружений к ледовым условиям научный коллектив разработал комплексную методику проектирования морских операций, адаптации существующих и разработки перспективных технических средств, с применением активных и пассивных методов защиты (с учетом особенностей ледового режима) для обеспечения безопасности при производстве буровых работ на конкретных лицензионных участках российской Арктики. В ходе исследовательской работы были разработаны оптимальные технические и организационные решения, направленные на увеличение сезона (продление сезона) разведочных буровых работ с помощью плавучих и самоподъемных буровых установок в ледовых условиях [9]. Методика апробирована на одном из перспективных для использования в Арктике проекте неледостойкой самоподъемной буровой установки (см. рис. 6), адаптированной с помощью специально разработанной защиты райзера к работе в условиях воздействия льда.

Выполненный комплекс модельных физических и математических испытаний дал авторскому коллективу данные об отклике сооружения на ледовые воздействия. Эти данные позволили перейти к опытно-конструкторской разработке

новых АКР ЛМБУ. В частности, была разработана инженерная концепция фундаментного мата для повышения несущей способности ледостойких СПБУ по грунтовому основанию без снижения ее мобильности.

Подготовка кадров для работы в условиях сурового климата Арктической зоны РФ

В Департаменте Морских арктических техноогий Дальневосточного федерального университета ведется подготовка инженеров-гидротехников по специальности «Гидротехнические сооружения повышенной ответственности», магистров – в рамках международной магистерской программы «Offshore and Coastal Engineering» (Шельфовое и прибрежное строительство), кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по специальности «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология». Сформирован Центр превосходства в области арктических шельфовых технологий – Международный научно-образовательный R&D центр (МНОЦ) «Арктика». Впервые проведенная на базе центра 16–27 февраля 2015 г. международная Зимняя школа «Ice Mechanics» превратилась в популярное в России и за рубежом ежегодное образовательное мероприятие – пример успешного внедрения международного образовательного проекта в актуальной области

проектирования и строительства МНГС в арктических и субарктических морях.

Целью проведения Зимней школы является подготовка специалистов, способных самостоятельно проводить лабораторные и полевые исследования морского льда, направленные на расширение знаний о свойствах морского льда применительно к инженерным задачам.

Задачи проведения международной Зимней школы:

- налаживание связей с зарубежными научными организациями и вузами;
- повышение качества научных исследований и преподавания в области ледотехнических проблем;
- повышение уровня специалистов и молодых ученых в области проблем освоения ресурсов ледовитых морей.

Для решения поставленных задач подготовлены и реализованы следующие мероприятия:

- курс лекций, направленных на получение знаний в области ледовых нагрузок и воздействий не только на морские инженерные сооружения для добычи нефти и газа, но и на подводные объекты обустройства месторождений и на ледоколы;
- курс практических занятий по методикам определения физико-механических свойств льда;
- программы полевых работ по изучению свойств морского льда в лабораторных и полевых условиях (см. рис. 7). По оригинальным методикам ДВФУ в полевых условиях исследуется пространственная неоднородность свойств ледяного покрова, коэффициент трения льда по различным материалам, прочностные и деформационные свойства морского льда и др.

В рамках Зимней школы участники получают возможность научиться работать с современными приборами и оборудованием, используемыми в лабораторных и полевых исследованиях для определения основных физико-механических характеристик льда, измерения напряжений и деформаций, а также получить практический опыт в области обработки экспериментальных данных. Полученные знания в области физики и механики льда позволяют расширить теоретические

РИСУНОК 7. Полевые работы на льду бухты Новик г. Владивостока



представления и закрепить навыки исследования морских сооружений в Арктике.

Все вышеперечисленные мероприятия способствуют:

- интеграции образовательного процесса и процесса исследований и инновационной деятельности, которые ориентированы на лучшие мировые стандарты;
- включению исследователей университета в международные исследовательские программы и проекты Азиатско-Тихоокеанского региона, внедрению проектов, привлекательных для участия международных партнеров, развитию партнерских отношений с научными и технологическими центрами других стран;
- развитию системы школ и конференций, укреплению профессиональных связей ученых университета.

Заключение

Перспективы масштабного освоения ресурсов Арктической зоны уже обозначены в ряде решений руководства страны. Поэтому разработки технических средств освоения и обустройства для арктических условий, разработки в области решения ледовых проблем для целей обустройства месторождений нефти и газа на континентальных шельфах арктических морей, исследования по повышению эффективности зимних дорог, исследование влияния глобального потепления актуальны и уже востребованы.

Творческий коллектив научной школы в области морской гидротехники ДВФУ, продолжает научные исследования и разработки,

расширяет материальную базу, выполняет большую работу по подготовке квалифицированных кадров с широким вовлечением молодых ученых, в сотрудничестве с ведущими корпорациями, осуществляющими свою деятельность в Арктической зоне России, с вузовскими и академическими коллективами. ●

Литература

1. Bekker A.T. Calculation of Ice Abrasion for the Lighthouses Installed in the Gulf of Bothnia / A.T. Bekker, T.E. Uvarova, E.E. Pomnikov // Proc. of the 21th Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Condition (POAC 11). – Montreal, Canada, 2011a.
2. Bekker A.T. Experimental Study of Concrete Resistance to Ice Abrasion / A.T. Bekker, T.E. Uvarova, E.E. Pomnikov, A.E. Farafonov, I.G. Prytkov, R.S. Tyutrin // Proc. of the 21th International Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Maui, Hawaii, USA, 2011. – Vol. 2. – P. 1044–1047.
3. Bekker A.T. Numerical Simulation of Ice Abrasion on Offshore Structures / A.T. Bekker, T.E. Uvarova, E.E. Pomnikov, G.R. Shamsutdinova // Proc. of the 21th IAHR Int. Symp. on Ice. – Dalian, China, 2012. – P. 897–906.
4. Bekker A.T. Seasonal variability ice strength properties on the russian continental shelf. Bekker A.T., Uvarova T.E., Pomnikov E.E., Zverev A.A., Shmykov A.A., Kornishin K.A., Efimov Y.O. // Proc. of the 30th International Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Virtual, Online, 2020. – Vol. 1. – P. 819–823.
5. Bekker A.T. The Registration of Temperature during Calculation of the Ice Abrasion / A.T. Bekker, T.E., T.E. Uvarova, E.E. Pomnikov // Proc. of the 9th ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symp. Bussan, Korea, 2010. – P. 226–229.
6. Makarov O.A., Bekker A.A. Comparative analysis of numerical methods for the modeling of ice-structure interaction problems // Continuum mechanics and thermodynamics. № 6. P. 1621–1639, 2022.
7. Makarov, O.A., Bekker, A.T.: Modeling of ice impacts using cohesive element method: influence of element size. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 666, p. 062029. IOP Publishing, 2021.
8. Sabodash O.A. Numerical modelling of interaction of the hummock with a seabed in abaqus software. Sabodash O.A., Bekker A.T. // Proc. of the 29th International Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Honolulu, HI, 2019. – Vol. 1. – P. 735–742.
9. Shmykov A.A. Methodology for managing the timing of drilling exploration in ice conditions based on the management of the geometric parameters of ice formations. Shmykov A.A., Pomnikov E.E., Bekker A.T., Uvarova T.E. Zverev A.A. // Proc. of the 30th International Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Virtual, Online, 2020. – Vol. 1. – P. 861–868.
10. Uvarova T.E. Calculation of the Ice Abrasion Depth of Concrete Structure Caused by Drifting Sea Ice / T.E. Uvarova A.T. Bekker, E.E. Pomnikov, R.S. Tyutrin // Proc. of the 22th IAHR Int. Symp. on Ice. – Singapore, 2014. – P. 338–346.
11. Uvarova, T.E. Calculations Model of the Ice Abrasion Depth Volume Worn Material / T.E. Uvarova, E.E. Pomnikov, R.S. Tyutrin, A.Y. Pomnikova, G.R. Shamsutdinova // Proc. of the 23rd International Offshore and Polar Engineering Conf. (ISOPE). Anchorage, Alaska, USA, 2013. – Vol. 1. – P. 1312–1314.
12. Анохин П.В. Методы измерения глубины ледовой абразии поверхности бетонных образцов. Анохин П.В., Беккер А.Т., Уварова Т.Э., Зверев А.А., Беляева Т.Д. // International Journal of Advanced Studies. № 1, с. 59–76, 2021.
13. Беккер А.Т., Трусков П.А. Воздействие дрейфующих торосистых образований льда на морское дно // Ледотермические проблемы в северном гидротехническом строительстве Воздействие дрейфующих торосистых образований льда на морское дно // Ледотермические проблемы в северном гидротехническом строительстве и вопросы продления навигации (г. Архангельск, 25–27 июня 1987 г.): материалы конф. и совещ. по гидротехнике. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 98–103.
14. Беккер А.Т., Вероятностные характеристики ледовых нагрузок на сооружения континентального шельфа. Владивосток, Дальнаука, 2004. – 346 с.
15. Зверев А.А. Методика математического моделирования ледовых истирающих воздействий на причальные сооружения. Зверев А.А., Беккер А.Т., Уварова Т.Э., Беляева Т.Д. // International Journal of Advanced Studies. № 2, с. 36–51, 2021.
16. Пашали А.А. Опыт выполнения экспедиционных ледовых и гидрометеорологических исследований в морях российской Арктики для информационного обеспечения освоения шельфа. Пашали А.А., Болдырев М.Л., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Тарасов П.А., Вребицкая О.А., Гудошников Ю.П., Миронов Е.У., Нестеров А.В., Ковалев С.М., Беккер А.Т. // Народное хозяйство. № 11, с. 8–12, 2021.
17. Пашали А.А. Особенности учета сезонной изменчивости прочностных свойств ледяных образований при освоении российского континентального шельфа. Пашали А.А., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Тарасов П.А., Мамедов Т.Э., Беккер А.Т., Помников Е.Е., Гузенко Р.Б., Ковалев С.М. // Народное хозяйство. № 8, с. 63–67, 2021.
18. Уварова Т.Э. Влияние физико-механических свойств бетона на сопротивление ледовой абразии. Уварова Т.Э., Анохин П.В. Беккер А.Т., Помников Е.Е., Назаренко Н.С. // Технологии бетонов. № 4 (177), с. 29–34, 2021.
19. Цуприк В.Г. Динамические ледовые нагрузки на сооружения континентального шельфа: монография / В.Г. Цуприк; Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. – 322 с.: ил. – (Лучшее научное издание ДВФУ).

KEYWORDS: ice load, offshore ice-resistant platform, hydraulic engineering structure, continental shelf, development of offshore fields.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКАЧКИ ПРОДУКЦИИ ЧЕРЕЗ РЕЗЕРВУАРНЫЕ ПАРКИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ЧАСТЬ 1. Дискретные динамические модели

НАСТОЯЩАЯ РАБОТА РАЗДЕЛЕНА НА ДВЕ ЧАСТИ: ПЕРВАЯ ПОСВЯЩЕНА ПОСТРОЕНИЮ ДИСКРЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРНЫМИ ПАРКАМИ, ВТОРАЯ – МОДЕЛЯМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ОЦЕНКИ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ РЕЗЕРВУАРНЫМИ ПАРКАМИ. В ДАННОЙ СТАТЬЕ ОПИСАНЫ ОСНОВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРНЫМИ ПАРКАМИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ. ПРИВЕДЕНА ДВЕ РАЗНОСТНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ, НАКЛАДЫВАЕМЫХ КАК НА МИНИМАЛЬНЫЕ И МАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ОТКАЧКИ ПРОДУКЦИИ, ТАК И НА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ОПЕРАТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ. ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ ПРИМЕНЯЕТСЯ В СЛУЧАЯХ, КОГДА ОБЪЕМ ПРИНИМАЮЩЕГО ПРОДУКЦИЮ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ДОСТАТОЧНО ВЕЛИК И НЕ ОКАЗЫВАЕТ СУЩЕСТВЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СКОРОСТЬ ОТКАЧКИ, А ВТОРАЯ – ЕСЛИ ТАКОЕ ВЛИЯНИЕ ВСЕ ЖЕ ИМЕЕТ МЕСТО. РАЗРАБОТАННЫЕ МОДЕЛИ МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ НЕЗАВИСИМО И В КАЧЕСТВЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ. РАБОТА ДОПОЛНЕНА ПРАКТИЧЕСКИМИ ПРИМЕРАМИ, ДЕМОНИСТРИРУЮЩИМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

THIS RESEARCH IS DIVIDED INTO TWO PARTS: THE FIRST IS DEVOTED TO THE CONSTRUCTION OF DISCRETE DYNAMIC MODELS OF THE PROCESSES OF OPERATION AND MANAGEMENT OF TANK FARMS, THE SECOND IS DEVOTED TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS FOR ASSESSING DECISIONS ON THE MANAGEMENT OF TANK FARMS. THIS PAPER DESCRIBES THE MAIN ALGORITHMS FOR MANAGING TANK FARMS OF OIL AND GAS PROCESSING INDUSTRIES. TWO DIFFERENCE MATHEMATICAL MODELS ARE PRESENTED FOR ASSESSING THE TRANSIENT PROCESSES OF TANK FARMS UNDER CONDITIONS OF RESTRICTIONS IMPOSED ON BOTH THE MINIMUM AND MAXIMUM VALUES OF PRODUCT PUMPING RATES, AND ON THE POSSIBILITY OF THEIR OPERATIONAL CHANGES. THE FIRST MODEL IS USED IN CASES WHERE THE VOLUME OF THE TANK FARM RECEIVING PRODUCTS IS LARGE ENOUGH AND DOES NOT HAVE A SIGNIFICANT EFFECT ON THE PUMPING SPEED, AND THE SECOND MODEL IS USED IF SUCH AN EFFECT DOES OCCUR. THE DEVELOPED MODELS CAN BE USED INDEPENDENTLY AND AS COMPONENTS OF DIGITAL TWINS OF PROCESSING PLANTS. THE WORK IS SUPPLEMENTED WITH PRACTICAL EXAMPLES DEMONSTRATING THE USE OF THE PROPOSED MODELS

Ключевые слова: резервуарные парки, откачка продукции, дискретные модели, цифровые двойники.

Кисленко Николай Анатольевич

генеральный директор,
начальник Департамента ПАО «Газпром»,
к.т.н.

Литвин Юрий Васильевич

заместитель генерального директора по науке,
к.э.н.

Обухов Олег Евгеньевич

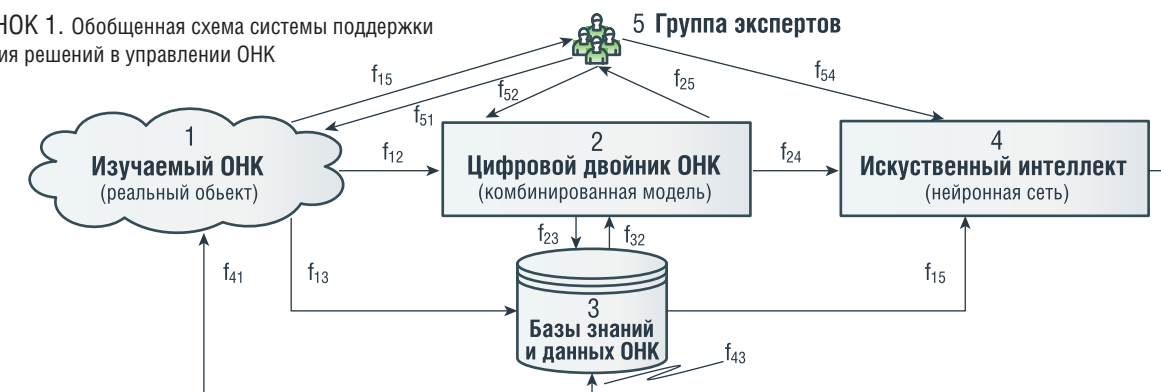
директор центра

ООО «НИИгазэкономика»

Высокая сложность производственных систем нефтегазовой отрасли и применяемых на них технологий, а также частая недооценка этих сложностей в процессе эксплуатации и принятия решений, может оказаться причиной возникновения серьезных проблем [1–3]. Характерными примерами таких систем являются перерабатывающие производства (ПП) нефтегазовой отрасли, включающие: технологические установки (ТУ), наливные эстакады (НЭ), дожимные компрессорные станции (ДКС), резервуарные парки (РП) с насосными станциями (НС) и связывающие их трубопроводы [2–4]. Управление такими системами требует от персонала ПП непрерывного анализа протекающих процессов, а также выявления и устранения возникающих проблем и выполнения оценок эффективности принимаемых решений. Так как на практике в основе многих решений, помимо регламентных документов, часто лежат опыт и здравый смысл, то это не позволяет в полной мере систематизировать все особенности совместного функционирования разнотипных по своей природе, но тесно интегрированных между собой процессов добычи, переработки и транспорта углеводородов (УВ).

УДК 004

РИСУНОК 1. Обобщенная схема системы поддержки принятия решений в управлении ОНК



Существенную помощь в поддержке таких решений оказывают повсеместно применяемые информационные технологии, разнообразные инструменты планирования и моделирования, включая модели цифровых двойников (ЦД) и искусственного интеллекта (ИИ).

Традиционно к основным задачам ПП относят [2]:

- прием и переработку углеводородного сырья;
- производство товарной продукции в соответствии с установленными планами и требованиями к качеству;
- рациональное использование материальных и иных ресурсов, обеспечивающих достижение высоких экономических показателей;
- безусловное выполнение государственных, отраслевых и корпоративных требований в части промышленной безопасности, экологии и др.

В настоящее время в связи с широкой информатизацией производств многими нефтегазовыми компаниями реализуются идеи создания ЦД – комбинированных моделей ПП, позволяющих отражать текущее состояние и прогнозировать дальнейшее развитие производственных процессов, а также оценивать эффективность принимаемых решений еще до их реального практического воплощения [5–8]. Как правило, ЦД совмещают в себе различные научные подходы и методы, позволяющие вести анализ производства с учетом динамики и нелинейности протекающих процессов. Так, наряду с методологией системной инженерии и больших данных [9], при создании ЦД широкое применение находят методы и средства системной динамики, аналитического и имитационного моделирования, а также разнообразные комбинированные модели и модели ИИ [10]. Таким образом, интеллектуализация процессов управления ПП и информационно-аналитическая поддержка принимаемых решений могут существенно повысить прозрачность процессов функционирования производства и эффективность работы персонала.

На рис. 1 представлена обобщенная структура системы поддержки принятия управленческих решений нефтегазового производства, состоящая из следующих элементов:

- объект нефтегазового комплекса (ОНК);
- ЦД изучаемого ОНК;
- модели ИИ, упрощающие использование ЦД и оценку показателей работы ОНК;
- базы знаний (БЗ) о результатах работы ОНК и принятых решениях;
- группа экспертов.

Между перечисленными элементами схемы указаны информационно-управленческие связи (f_{ij} , $i, j = 1 \dots 4$).

Так, результаты работы ОНК передаются для анализа группе экспертов (f_{15}), а также отражаются в модели ЦД (f_{12}). В свою очередь, модель ЦД может использоваться как для наполнения БЗ (f_{23}), так и для обучения моделей ИИ (f_{24}) в различных ситуациях. Группа экспертов проводит оперативный анализ работы ОНК, используя ЦД (f_{51} и f_{52}), вырабатывает приемлемые режимы эксплуатации объектов и обеспечивает сбалансированность процессов производства (f_{51} , f_{52}). О результатах работы и показателях ОНК, полученных на ЦД, периодически информируются руководители.

Применение ЦД обеспечивает широкие возможности виртуального анализа процессов нефтегазового производства в целом и его отдельных компонентов, в которых могут возникать различные критические ситуации (отказы, нарушение режимов эксплуатации и др.). В настоящей статье в качестве такого компонента принят РП, используемый при перекачке газового конденсата (ГК) или нефтегазоконденсатной смеси (НГКС) между двумя ПП.

Резервуарные парки в технологических цепочках переработки углеводородов нефтегазовых производств

При проектировании РП, как правило, используют одну и ту же типовую схему их работы [13–15], когда каждый из резервуаров последовательно заполняется, а накопленная продукция отстаивается, компаундируется, паспортизируется¹, а затем откачивается потребителю. Между тем практическая реализация данного способа при больших объемах перекачки, как правило, сталкивается с некоторыми проблемами, в частности с быстрым износом и выходом из строя активно работающих арматурных узлов. В связи с этим на практике часто реализуется иная схема работы. Приведем более подробно описание одной из возможных схем.

Рассмотрим РП, основной целью эксплуатации которого является «сглаживание» выходящего потока ГК или НГКС, направляемого на другое ПП, а также временное хранение в случае, если по каким-то причинам откачка или прием невозможны. Рассматриваемый РП тесно связан с ТУ и другими РП, формирующими суммарный входной поток в данный РП. С течением времени, вследствие неравномерности поступающего

¹ Паспортизация – процесс подтверждения качества продукции требуемым нормам.

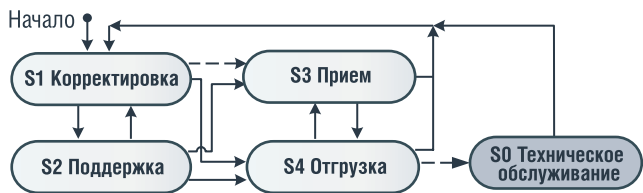
сырьевого потока на ПП, изменений режимов работы ТУ, наличия сопутствующих и «некондиционных» потоков, выполнения ремонтных работ или других причин, скорость входящего потока в РП $V_{in}(t)$ (здесь и далее в т/ч)², может изменяться. Пусть РП состоит из нескольких карт³; причем в момент t одна из карт используется для наполнения или отгрузки ГК или НГКС (в дальнейшем будем называть такую карту активной), а другие находятся во временном резерве:

- если $V_{in}(t) \approx V_{out}(t)$, то уровень заполнения активной карты со временем не изменяется, где $V_{out}(t)$ – скорость исходящего потока из РП в момент t ;
- если $V_{in}(t) > V_{out}(t)$, то уровень заполнения активной карты растет. После ее заполнения в работу включается свободная карта. Отметим, что если в процессе работы начинают включаться дополнительные карты, то операторы РП начинают принимать меры по недопущению его переполнения, снижая производительность ТУ и, как следствие, добычного комплекса и/или увеличивая $V_{out}(t)$;
- если $V_{in}(t) < V_{out}(t)$, то уровень заполнения активной карты снижается. Если для отгрузки доступна еще одна карта, то $V_{out}(t)$ не изменяется. В противном случае принимается решение о снижении $V_{out}(t)$ активной карты.

Описанная схема может быть представлена в виде эквивалентной упрощенной модели, состоящей из одного резервуара с заполнением $S(t)$, равным суммарному заполнению всех резервуаров РП. При этом $S(t) \in [S_{min}, S_{max}]$, где S_{min} и S_{max} – нижний и верхний допустимые уровни заполнения РП. Отметим, что в процессе эксплуатации персонал ПП стремится по возможности привести заполнение РП к некоторому целевому значению ($S(t) \rightarrow S_g$). В дальнейшем будем использовать данную упрощенную схему работы РП.

Введем следующие состояния РП, определяемые режимами эксплуатации: $S1$ – «корректировка», $S2$ – «поддержка», $S3$ – «прием», $S4$ – «отгрузка» и $S0$ – «техническое обслуживание». Стрелки между состояниями указывают на возможные переходы (рис. 2).

РИСУНОК 2. Диаграмма состояний РП (режим «прямотока»)



Будем считать, что РП находится в состоянии $S1$ – «корректировка», если $V_{in}(t) \neq V_{out}(t)$ или $S(t) \neq S_g$. Следует отметить, что обоснование целевого заполнения S_g представляет собой отдельную задачу, хотя на практике эта величина часто упрощенно принимается равной $(S_{min} + S_{max})/2$.

РП находится в состоянии $S2$ – «поддержка», если $V_{in}(t) = V_{out}(t)$, а $S(t) = S_g$.

Состояния $S3$ – «прием» и $S4$ – «отгрузка» реализуются в случаях, если $V_{out}(t) = 0$ или $V_{in}(t) = 0$ соответственно. В первом случае РП используется для временного накопления и хранения ГК или НГКС, а во втором –

осуществляется плавное снижение $V_{out}(t)$ до $V_{out,min}$, после чего откачка продолжается с $V_{out}(t) = V_{out,min}$, пока $S(t) > S_{min}$.

Кроме этого, на $V_{out}(t)$ накладываются дополнительные ограничения на минимальное ($V_{out,min}$) и максимальное ($V_{out,max}$) значения, связанные с производительностью установленного на РП насосного оборудования, производящего откачку ГК или НГКС.

Если РП и принимающее ПП расположены достаточно далеко друг от друга, то учитывается дополнительное требование о плавном изменении $V_{out}(t)$ не более чем на dV (обычно 50–100 тонн/ч). Указанное требование связано как с необходимостью соблюдения «дыхания» резервуаров, так и с предотвращением избыточного гидродинамического воздействия на конденсатопровод, задействованный в процессе перекачки.

Перечисленные выше условия создают значительное сложности в анализе, прогнозировании использования РП и выработке эффективных управленческих решений, в связи с чем требуется создание соответствующих моделей динамического управления процессами, протекающими в резервуарном парке.

Динамическая модель эксплуатации резервуарного парка в технологической цепочке переработки углеводородов

Случай неограниченного объема принимающего резервуарного парка

Рассмотрим случай, когда РП принимающего ПП имеет вместимость S'_{max} , причем $S'_{max} \gg S_{max}$. В этом случае какие-либо дополнительные ограничения, связанные с возможной временной остановкой приема на него ГК из-за заполнения принимающего узла, не учитываются.

Рассмотрим подмножество $\{ТУ\}$, состоящее из $i = 1 \dots N$ технологических установок, каждая из которых создает в РП поток $P_i(t)$, и подмножество резервуарных парков $\{РП\}$, состоящее из $j = 1 \dots M$ парков, каждый из которых направляет в исследуемый РП сопутствующие компонентные потоки $D_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, M$. Тогда суммарная входящая скорость потока, поступающего в РП, будет равна:

$$V_{in}(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) + \sum_{j=1}^M D_j(t). \quad (1.1)$$

Пусть РП функционирует в режиме «прямотока», когда поступающий ГК не отстаивается, а сразу же отгружается в конденсатопровод с одновременной паспортизацией [13] (рис. 3).

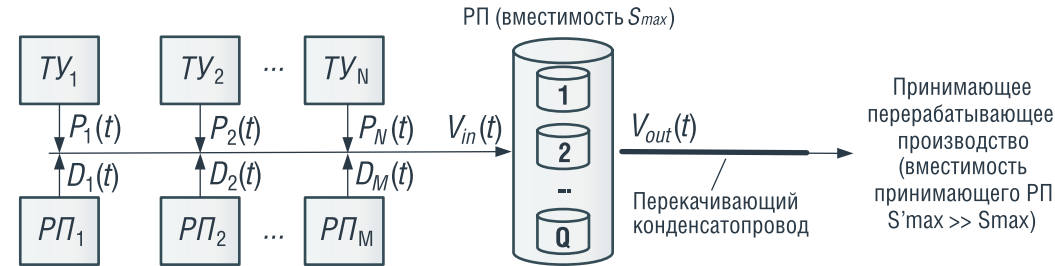
Введем систему ограничений, определяющую область допустимых значений $V_{out}(t)$ в каждый момент времени ($t = 1, 2, \dots, T$). Первое из ограничений определяет область допустимых значений $V_{out}(t)$, определяемую производительностью установленного насосного оборудования:

$$V_{out}(t) \in [V_{out,min}, V_{out,max}] \cup 0. \quad (1.2)$$

² В дальнейшем используются массовые (в тоннах) значения всех параметров.

³ Карта – группа параллельно связанных резервуаров, наполняемых и отгружаемых одновременно.

РИСУНОК 3. Место РП в схеме сбора и перекачки ГК



Второе и третье ограничения определяют области допустимых значений $V_{out}(t)$ в зависимости от скорости откачки в момент $t-1$:

$$V_{out}(t) \in [V_{out,min}, V_{out,min} + dV] \cup 0, \quad \text{если } V_{out}(t-1) = V_{out,min}, \quad (1.3)$$

$$V_{out}(t) \in [V_{out}(t-1) - dV, V_{out}(t-1) + dV], \quad \text{если } V_{out}(t) > V_{out,min}. \quad (1.4)$$

Наконец, последнее из ограничений определяет значение скорости в момент t , если до этого момента по каким-либо причинам откачка не проводилась:

$$V_{out}(t) = V_{out,min} \parallel 0, \quad \text{если } V_{out}(t-1) = 0. \quad (1.5)$$

Уровень заполнения РП в каждый момент времени может быть рассчитан через уравнение материального баланса:

$$S(t) = S(t-1) + (V_{in}(t) - V_{out}(t)) dt, \quad (1.6)$$

где dt – принятый интервал дискретизации времени (в часах).

Задача заключается в выборе такой скорости откачки $V_{out}(t)$, при которой не будут превышены установленные значения по минимальному и максимальному уровню заполнения РП и выполнены ограничения (1.2)–(1.5) на каждом шаге расчета.

Приведем пошаговый алгоритм расчета $V_{out}(t)$ с учетом перечисленных выше условий и ограничений.

Шаг 1. По формуле (1.1) выполняется расчет $V_{in}(t)$ при заданных скоростях входящего ($V_{in}(0)$) и исходящего ($V_{out}(0)$) потоков на начало моделирования.

Шаг 2. Определение активного состояния РП:

- если $V_{in}(t) = V_{out}(t-1)$ и $S(t-1) \approx S_g$, то РП находится в состоянии $S2$ – «поддержка»;
- если $V_{in}(t) > 0$, $V_{out}(t-1) = 0$, то РП находится в состоянии $S3$ – «прием»;
- если $V_{in}(t) = 0$, $V_{out}(t-1) > 0$, то РП находится в состоянии $S4$ – «отгрузка»,

в противном случае РП находится в состоянии «корректировка».

Шаг 3. Вычисление допустимого диапазона значений $V_{out}(t)$.

Шаг 3.1. Вычисление максимальной допустимой скорости откачки $V_{out,max,s}(t)$ с учетом:

- допустимого увеличения скорости за шаг моделирования: $V_{out,max,1}(t) = \max(V_{out}(t-1) + dV, V_{out,min})$, (1.7)
- максимальной производительности насосного оборудования: $V_{out,max,2}(t) = V_{out,max}$, (1.8)

- предотвращение выхода за допустимую зону заполнения (определяет максимальную скорость откачки, при которой с учетом заданной входящей

скорости $V_{in}(t)$ не происходит снижения уровня загрузки $S(t)$ меньше S_{min} :

$$V_{out,max,3}(t) = (S(t) - S_{min})/dt + V_{in}(t). \quad (1.9)$$

Максимальная допустимая скорость откачки $V_{out,max,s}(t)$ будет определяться по минимальному из значений (1.7)–(1.9):

$$V_{out,max,s}(t) = \min(V_{out,max,1}(t), V_{out,max,2}(t), V_{out,max,3}(t)). \quad (1.10)$$

Шаг 3.2. Вычисление минимальной допустимой скорости откачки $V_{out,min,s}(t)$ с учетом:

- допустимого снижения скорости за шаг моделирования: $V_{out,min,1}(t) = \max(V_{out}(t-1) - dV, V_{out,min})$, (1.11)

- минимальной производительности насосного оборудования: $V_{out,min,2}(t) = V_{min}$, (1.12)

- невыхода за допустимую зону заполнения: $V_{out,min,3}(t) = \max((S(t) - S_{max})/dt + V_{in}(t), S_{min}/dt)$. (1.13)

Минимальная допустимая скорость откачки $V_{out,min,s}(t)$ будет определяться по максимальному из условий (1.11)–(1.13):

$$V_{out,min,s}(t) = \max(V_{out,min,1}(t), V_{out,min,2}(t), V_{out,min,3}(t)). \quad (1.14)$$

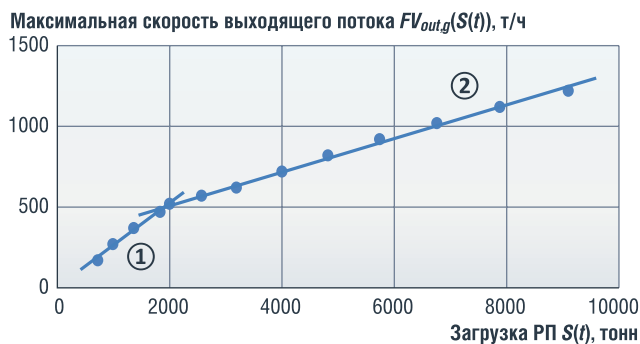
Шаг 4. Вычисление целевой скорости откачки.

В дальнейшем под целевой $V_{out,g}(t)$ будем понимать скорость, которая позволила бы достигнуть $S(t) = S_g$ за один шаг моделирования при отсутствии каких-либо ограничений. Величина $V_{out,g}(t)$ указывает алгоритму предпочтительное направление и величину изменения $V_{out}(t)$ для достижения целевой загрузки РП:

$$V_{out,g}(t) = (S(t) - S_g)/dt + V_{in}(t). \quad (1.15)$$

Шаг 5. Учет возможного обнуления входящего потока. Одно из возможных дополнительных условий, заключается в учете возможного обнуления входящего потока $V_{in}(t+1)$ (например, вследствие инцидента или аварии), что требует наличия достаточного объема заполнения $S(t)$ в РП и не слишком высокой скорости откачки $V_{out}(t)$, позволяющих произвести ее плавное (не более чем dV в единицу времени) снижение до $V_{out,min}$, т.е. пока $S(t) > S_{min}$.

Для учета этого требования следует дополнительно ограничить $V_{out,g}(t)$ значением некоторой табличной функции $FV_{out,g}[S(t)]$. Расчет $FV_{out,g}[S(t)]$ выполняется заранее, исходя из условия о соблюдении предельного соотношения между $S(t)$ и $V_{out}(t)$ (рис. 4). Отметим, что данное правило часто не позволяет алгоритму РП перейти в состояние $S2$ – «поддержка» и требует дополнительных вычислений на каждом шаге, хотя это и ведет к большей устойчивости результатов.

РИСУНОК 4. Пример расчета $FV_{out,g}(S(t))$ 

Примечание: для расчета $FV_{out,g}(S(t))$ использована кусочно-линейная аппроксимация (1: $FV_{out,g}(S(t)) = 0,2631 \cdot S(t) - 3,3162$ ($R2 = 0,91$); 2: $FV_{out,g}(S(t)) = 0,1022 \cdot S(t) + 313,43$ ($R2 = 0,99$))

Шаг 6. Вычисление $V_{out}(t)$:

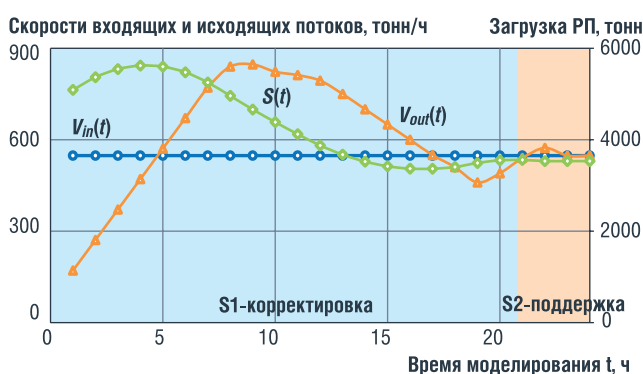
$$V_{out}(t) = \begin{cases} V_{max}, & V_g > V_{max}, \\ V_{min}, & V_g < V_{min}, \\ V_g, & V_g \in [V_{min}, V_{max}]. \end{cases} \quad (1.16)$$

В состоянии $S3$ – «прием» РП эксплуатируется режиме наполнения до тех пор, пока $V_{out}(t) = 0$ и $S(t) \leq S_{max}$. Если $V_{out}(t) \neq 0$, то состояние РП изменяется на $S1$ – «корректировка», а при нарушении второго условия моделирование прекращается (авария). Следует отметить, что если в будущем не предполагается включение откачки, то целесообразно дополнительно останавливать моделирование за один-два шага до $S(t) \geq S_{max}(t)$ (так называемый предаварийный режим).

Для состояния $S4$ – «отгрузка» РП работает в режиме постепенного (не более чем на dV) снижения скорости $V_{out}(t)$ до $V_{out,min}$ с последующей поддержкой на уровне $V_{out}(t) = V_{out,min}$ до момента, когда $S(t) = S_{min}$ и последующего прекращения отгрузки.

Приведенные шаги алгоритма рекуррентно выполняются во времени на рассматриваемом интервале анализа (T).

На рис. 5 представлен условный пример выполненных на модели расчетов для $V_{in}(t) = 548$ тонн/ч, $t \in [1, T]$, $S(0) = 5090$ тонн и $S_g = 3533$ тонн. Результаты расчета свидетельствуют о том, что за период $t \in [1, 22]$ РП находится в состоянии $S1$ – «корректировка». В период $t \in [1, 9]$ $V_{out}(t)$ постепенно увеличивается, что приводит к снижению $S(t)$, после чего $V_{in}(t) = V_{out}(t)$ и РП переходит в состояние $S2$ – «поддержка».

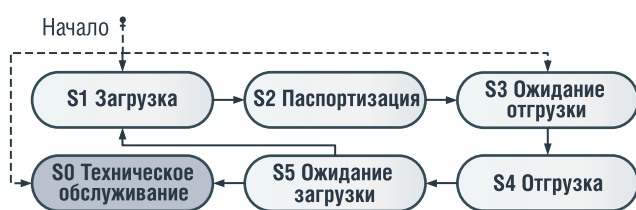
РИСУНОК 5. Пример расчета $V_{out}(t)$ в зависимости от $V_{in}(t)$ и $S(t)$ 

В заключение раздела следует отметить, что подобные регулярные перерасчеты $V_{out}(t)$ хотя и позволяют достаточно точно спрогнозировать реальный процесс изменения скоростей откачки в РП, все же требуют значительного времени и вычислительных ресурсов, что с точки зрения практики вызывает потребность в создании более эффективных алгоритмов. Один из таких алгоритмов, базирующийся на моделях ИИ, будет представлен во второй части работы.

Случай ограниченного объема принимающего резервуарного парка

Рассмотрим случай, когда принимающий НГКС⁴ резервуарный парк имеет ограниченную вместимость S'_{max} того же порядка, что и исследуемый РП ($S'_{max} \approx S_{max}$). В этом случае в предложенную выше модель следует внести ряд изменений, связанных с возможной временной остановкой приема НГКС из-за заполнения принимающего РП. Кроме того, принимается во внимание необходимость паспортизации НГКС, а также невозможность нахождения в состояниях «наполнения» и «отгрузки» более одного резервуара в РП⁵ (рис. 6).

РИСУНОК 6. Диаграмма состояний резервуаров РП



Введем подмножества состояний процесса взаимодействия резервуарных парков (рис. 7) между РП:

- источники $\{I\}$, включающие Q резервуаров, наполняемых, компаундируемых, паспортизируемых и отгружаемых последовательно (узел 1);
- потребители $\{П\}$, включающие U резервуаров, наполняемых, компаундируемых, паспортизируемых и отгружаемых последовательно (узел 3).
- нефтепровод (конденсатопровод), связывающий подмножества $\{I\}$ и $\{П\}$ (узел 2).

Пусть скорость откачки $V_{2,out}(t)$ из принимающего НГКС узла известна. Отметим, что максимальные суммарные вместимости РП (S'_{max} , S_{max}), а также периоды компаундирования продукции в узлах 1 и 3 (C_1 , C_3) могут отличаться. Временем нахождения НГКС в перекачивающем нефтепроводе пренебрегаем.

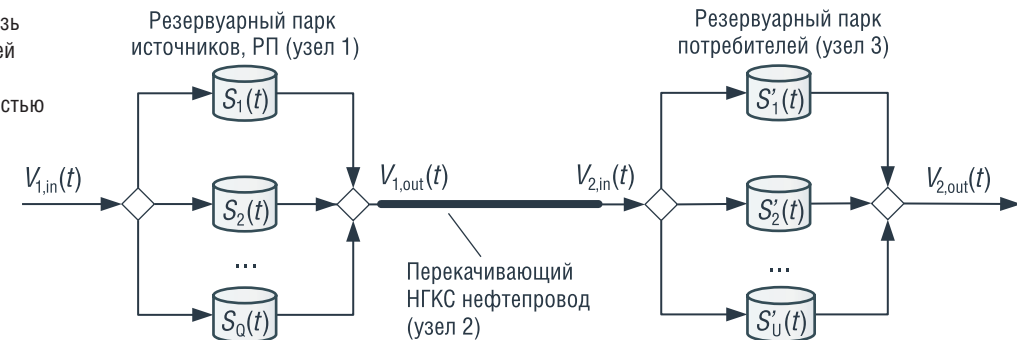
Необходимо разработать такой алгоритм управления $V_{1,out}(t) = V_{2,in}(t)$, чтобы с учетом (1.2)–(1.5) обеспечивалась перекачка НГКС от $\{I\}$ к $\{П\}$.

Шаг 1. Определение скоростей входящего и исходящего потоков НГКС на начало моделирования. По формуле (1.1) проводится расчет $V_{1,in}(t)$. Значение $V_{1,out}(0)$ принимается равным скорости откачки, которая существовала на момент начала моделирования.

⁴ Описываемая ниже схема может использоваться как при перекачке ГК, так и НГКС. В дальнейшем будем использовать обозначение НГКС.

⁵ Данное условие означает, что все резервуары в РП наполняются и отгружаются попеременно.

РИСУНОК 7. Взаимосвязь источников и потребителей в схеме перекачки НГКС с ограниченной вместимостью принимающего узла



Шаг 2. Вычисление допустимого диапазона значений $V_{1,out}(t)$.

Шаг 2.1. Вычисление максимальной допустимой скорости откачки $V_{1,out,max,s}(t)$ с учетом:

- допустимого увеличения скорости на шаг моделирования:

$$V_{1,out,max,1}(t) = \max(V_{1,out}(t-1) + dV, V_{1,out,min}); \quad (2.1)$$

- максимальной производительности насосного оборудования:

$$V_{1,out,max,2}(t) = V_{1,max}. \quad (2.2)$$

Отметим, что в отличие от предыдущей модели здесь не учитывается возможное превышение предельного уровня заполнения узла 1, так как считается, что при наполнении одного из резервуаров РП сразу же начинает загружаться следующий. В случае наполнения всех резервуаров входящий поток $V_{1,in}(t)$ обнуляется (временно направляется в другой РП).

Максимальная допустимая скорость откачки $V_{1,out,max,s}(t)$ будет определяться по минимальному из вариантов (2.1)–(2.2):

$$V_{1,out,max,s}(t) = \min(V_{1,out,max,1}(t), V_{1,out,max,2}(t)). \quad (2.3)$$

Шаг 2.2. Вычисление минимальной допустимой скорости откачки $V_{1,out,min,s}(t)$ с учетом:

- допустимого изменения скорости на шаге:

$$V_{1,out,min,1}(t) = \max(V_{1,out}(t-1) - dV, V_{1,out,min}), \quad (2.4)$$

- максимальной производительности насосного оборудования:

$$V_{1,out,min,2}(t) = V_{1,min}. \quad (2.5)$$

Минимальная допустимая скорость откачки $V_{1,out,min,s}(t)$ будет определяться по максимальному из вариантов (2.4)–(2.5):

$$V_{1,out,min,s}(t) = \max(V_{1,out,min,1}(t), V_{1,out,min,2}(t)). \quad (2.6)$$

Шаг 3. Вычисление целевой скорости исходящего потока $V_{1,out,g}(t)$. Целевую скорость следует выбирать по минимальному значению из двух скоростей:

- максимальной скорости откачки $V_{1,out,max,s}(t)$ узла 1, не приводящей к «разрыву» (т.е. резкому изменению) потока из-за отсутствия подготовленного к откачке резервуара;
- максимальной скорости приема $V_{max,2}(t)$ узла 3, не приводящей к «разрыву» потока из-за отсутствия подготовленного к приему резервуара.

Шаг 3.1. Вычисление $V_{max,1}(t)$. Для каждого из резервуаров $i = 1..Q$ узла 1 выполняются следующие оценки:

- если резервуар i находится в состояниях $S1$ – «загрузка» или $S5$ – «ожидание загрузки», то оценивается длительность (в часах) до завершения его наполнения и паспортизации:

$$D_{1,i}(t) = C_1 + R + [S_{1,max} - S_i(t)] / V_{mid}. \quad (2.7)$$

где C_1 – длительность паспортизации; R – временной резерв (эмпирически полагается равным 1–3 часа); V_{mid} – эмпирическая оценка средней скорости заполнения резервуара, принадлежащего подмножеству $\{I\}$;

- если резервуар находится в состоянии $S2$ – «паспортизация», то оценивается оставшееся время в этом состоянии:

$$D_{1,i}(t) = C_1 + R - D_{1,i}(t). \quad (2.8)$$

где $D_{1,i}(t)$ – время, прошедшее с начала паспортизации;

- если резервуар находится в состояниях $S3$ – «ожидание отгрузки» или $S4$ – «отгрузка», то в модели принимается:

$$D_{1,i}(t) = S, \quad (2.9)$$

где S – некоторое очень большое число.

Для каждого из резервуаров подмножества $\{I\}$ по формулам (2.7)–(2.9) оценивается ожидаемая длительность до начала отгрузки. Из всех резервуаров выбирается тот, время готовности к отгрузке которого минимально:

$$D_{1,min}(t) = \min_{i=1..Q} D_{1,i}(t). \quad (2.10)$$

Разделив остаток загрузки резервуара k подмножества $\{I\}$, находящегося в момент t в состоянии $S4$ – «отгрузка» на время $D_{1,min}(t)$, через которое будет готов к отгрузке следующий резервуар, удастся определить максимальную скорость откачки:

$$V_{1,max}(t) = [S_{1,k}(t) - S_{1,min}] / D_{1,min}(t). \quad (2.11)$$

Шаг 3.2. Вычисление $V_{max,2}(t)$. Для каждого из резервуаров $j = 1..U$ узла 3 проводятся следующие оценки:

- если резервуар находится в состоянии $S4$ – «отгрузка», то определяется длительность, через которую отгрузка будет завершена:

$$D_{2,j}(t) = [S_{1,j}(t) - S_{1,min}] / V_{2,out}(t). \quad (2.12)$$

- если резервуар находится в состоянии $S2$ – «паспортизация», то определяется длительность, через которую паспортизация завершится и резервуар будет полностью отгружен:

$$D_{2,j}(t) = Delay_2 + R - D_{2,j}(t) + [S(t) - S_{2,min}] / V_{2,out}(t). \quad (2.13)$$

где $D_{2,j}(t)$ – время, прошедшее с момента начала паспортизации.

В результате для каждого из резервуаров подмножества $\{I\}$ определяется ожидаемая длительность до начала приема НГКС. Из всех резервуаров подмножества $\{I\}$ выбирается тот, время готовности к приему НГКС у которого минимально:

$$D_{2,min}(t) = \min_{j=1..U} D_{2,j}(t). \quad (2.14)$$

Разделив остаток загрузки резервуара I подмножества $\{I\}$, находящегося в состоянии $S1$ – «загрузка», на время $D_{2,min}(t)$, через которое будет готов к приему следующий резервуар, можно определить максимальную скорость откачки НГКС:

$$V_{2,max}(t) = [S_{2,I}(t) - S_{2,min}] / D_{2,min}(t). \quad (2.15)$$

Шаг 3.3. Вычисление целевой скорости исходящего потока:

$$V_{out,g}(t) = \min(V_{1,max}(t), V_{2,max}(t)). \quad (2.16)$$

Шаг 4. Расчет обновленного значения исходящего потока на шаге t :

$$V_{1,out}(t) = \begin{cases} V_{max}, & V_{out,g} > V_{max}, \\ V_{min}, & V_{out,g} < V_{min}, \\ V_{out,g}, & V_{out,g} \in [V_{min}, V_{max}]. \end{cases} \quad (2.17)$$

Рассмотрим пример, иллюстрирующий применение алгоритма 2 расчета исходящей скорости $V_{1,out}(t)$. Пусть рассматривается схема, состоящая из $Q = 3$ РВС-30000 источников с макс. вместимостью 17 440 тонн каждый и $U = 3$ РВС-30000 потребителей вместимостью 17 350 тонн каждый. Время паспортизации в узле 1 составляет 1 день, а в узле 3 – 2 дня.

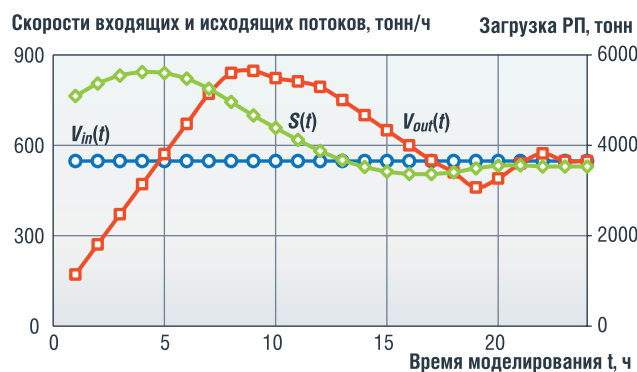
На момент начала расчетов резервуары подмножества $\{I\}$ находятся в состояниях:

- 1-й резервуар: $S2$ – «паспортизация» (время до окончания 10 ч);
- 2-й резервуар: $S1$ – «загрузка» (с мин. остатком 2240 тонн);
- 3-й резервуар: $S4$ – «отгрузка» (остаток 6107 тонн).

Резервуары подмножества $\{I\}$ находятся в состояниях:

- 1-й резервуар: $S1$ – «загрузка» (с мин. остатком 2240 тонн);
- 2-й резервуар: $S2$ – «паспортизация» (время до окончания 27 ч);
- 3-й резервуар: $S4$ – «отгрузка» (остаток 11 050 тонн).

РИСУНОК 8. Пример расчета $V_{out}(t)$ в зависимости от $V_{in}(t)$ и $S(t)$



На рисунке 8 приведен график изменения суммарной загрузки резервуаров узла 1 $\sum S(t)$ и узла 3 $\sum Z(t)$, а также выходящего потока $V_{out,1}(t)$ в зависимости от времени. Как следует из приведенных оценок, предложенный алгоритм также хорошо справляется с неравномерностью уровня загрузки и исходящей скорости откачки, приводя уровень загрузки РП к желаемому состоянию.

Сравнение полученных оценок с реальными результатами работы РП показывает высокую точность выполняемых оценок по предложенным алгоритмам, что позволяет использовать их в качестве инструментов поддержки принимаемых решений с помощью цифрового двойника в процессе планирования и эксплуатации ПП.

Заключение

В настоящей работе предложен новый подход к оценке и выработке решений по управлению РП при наличии различных ограничений на скорости откачки продукции. Полученные результаты хорошо согласуются с практикой работы ПП и позволяют исследовать различные режимы эксплуатации РП, а также использовать полученные результаты при обосновании управленческих решений в моделях ЦД производственных предприятий. Применение разработанных алгоритмов связано с затратами времени на подготовку и выполнение расчетов, которые можно существенно уменьшить и упростить путем применения моделей ИИ. ●

Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. – С. 356.
2. Технологии производства природного газа и конденсата. М.: «Недра-Бизнесцентр», 2002. – С. 517.
3. Lyons W.C. Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. UK, Elsevier Inc., 2016. – pp. 1817.
4. Кисленко Н.А., Литвин Ю.В., Обухов О.Е. Цифровая трансформация процессом управления перерабатывающими производствами нефтегазовой отрасли на базе комбинированного моделирования // Газовая промышленность. № 4 (841).
5. Тихоной Ю.М., Степаненко Д.А. Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли // Стратегии бизнеса. 2021. № 2.
6. Воробьев А.Е. и др. Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование «интеллектуальных» технологий // Вестник Евразийской науки, 2018 № 2.
7. Быкова В.Н. и др. Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 1 (28).
8. Семенов П.В. и др. Концептуальная модель реализации технологий цифровых двойников для предприятий нефтегазового комплекса.
9. Marr B. Big Data in Practice. UK, Wiley, 2016. – pp. 322.
10. HELAL M. A Hybrid system dynamics-discrete event simulation approach to simulation the manufacturing enterprise. Dissertation, 2008. – pp. 390.
11. Маргулов Р.Д. и др. Системный анализ в перспективном планировании добычи газа. – М.: Недра, 1992. – 287 с.
12. Xu M.H., Li M., Yang C.C. Neural networks for a class of bi-level variational inequalities. Journal of Global Optimization, 44(4), 2009. – pp. 535–552.
13. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
14. ГОСТ 17032-2010 Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Типы и основные размеры.
15. РМГ 116-2011. Резервуары магистральных нефтепроводов и нефтебаз. Техническое обслуживание и метрологическое обеспечение в условиях эксплуатации.
16. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 529 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов».
17. РД 16.01-60.30.00-КТН-026-1-04 Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000–5000 м³.
18. ГОСТ 2517-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб.

KEYWORDS: tank farms, pumping products, discrete models, digital doubles.

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

1 декабря

Конференция

Управление рисками в промышленности

г. Москва

5–8 декабря

Международная специализированная выставка

Безопасность и охрана труда

г. Москва

12–14 декабря

Конференция и выставка возобновляемых источников энергии

BIOGAS Convention & Trade Fair 2023

г. Нюрнберг, Германия

ДЕКАБРЬ

П		4	11	18	25
В		5	12	19	26
С		6	13	20	27
Ч		7	14	21	28
П	1	8	15	22	29
С	2	9	16	23	30
В	3	10	17	24	31

7–9 декабря

Международный научный форум по применению технологий компьютерного моделирования в науке, промышленности и бизнесе FIT-M

г. Москва

13–14 декабря

Конференция по интернет-технологиям и предпринимательству

NOAH Conference Zurich 2023

г. Цюрих, Швейцария

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛОГИСТИКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Дмитриев Александр Викторович

заведующий кафедрой безопасности,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы,
д.э.н.

В СТАТЬЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В АРКТИКЕ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ. ИССЛЕДУЕТСЯ СПЕЦИФИКА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ. ПРОВОДИТСЯ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ГРУЗОВЫХ ПОТОКОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ. ОЦЕНИВАЮТСЯ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЕРЕВОЗОК НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА. ВЫЯВЛЯЮТСЯ ОСНОВНЫЕ УГРОЗЫ И РИСКИ ЛОГИСТИКИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ, ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ГЕОПОЛИТИЧЕСКОЙ СФЕРАХ

THE ARTICLE DISCUSSES ISSUES OF ENSURING THE SAFETY OF TRANSPORT AND LOGISTICS SERVICES IN THE ARCTIC IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE NORTHERN SEA ROUTE. THE SPECIFICS OF STATE POLICY AND LEGAL REGULATION OF NATIONAL SECURITY IN THE ARCTIC ZONE ARE EXPLORED. AN ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF CARGO FLOWS ALONG THE NORTHERN SEA ROUTE IS BEING CARRIED OUT. THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS USING THE PORTS OF THE NORTH-WESTERN REGION ARE ASSESSED. THE MAIN THREATS AND RISKS OF LOGISTICS IN THE INFORMATION, ECONOMIC AND GEOPOLITICAL SPHERES ARE IDENTIFIED

Ключевые слова: экономическая безопасность, логистика, транспорт, грузовые перевозки, Арктика, Северный морской путь.

В настоящее время вопросы обеспечения экономической и национальной безопасности нашей страны являются приоритетными направлениями реализации государственной политики. Согласно Федеральному закону «О безопасности» от 28.12.2010 № 390-ФЗ, «государственная политика в области обеспечения безопасности является частью внутренней и внешней политики Российской Федерации и представляет собой совокупность скоординированных и объединенных единым замыслом политических, организационных, социально-экономических, военных, правовых, информационных, специальных и иных мер» [1].

В действующей Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, принятой и опубликованной в 2021 году, национальная безопасность Российской Федерации представляет собой «состояние защищенности национальных интересов Российской Федерации от внешних и внутренних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав

ФАКТЫ

Более
80 %

горючего
природного газа
и 17 % нефти
в Российской
Федерации
добывается
в Арктике

и свобод граждан, достойные качество и уровень их жизни, гражданский мир и согласие в стране, охрана суверенитета Российской Федерации, ее независимости и государственной целостности, социально-экономическое развитие страны» [2].

Для реализации указанных выше мер по обеспечению национальной безопасности необходимо уделять внимание, прежде всего, государственной безопасности, обороне страны, безопасности личности, общественной, информационной, экологической, экономической, транспортной, энергетической, продовольственной, миграционной безопасности, а также безопасности в сфере науки, технологий и образования, безопасности в духовно-нравственной и культурной сферах, безопасности от террористических и экстремистских проявлений, международной безопасности (рис. 1).

Проблема обеспечения национальной безопасности России распространяется и на северный регион – Арктику, поскольку Российская Федерация сегодня принадлежит к числу крупнейших в мире арктических государств, а развитие транспортно-логистической системы с использованием Северного морского пути в перспективе даст серьезные экономические преимущества для нашей страны.

В последние десятилетия политика России на арктическом направлении активизировалась после в ратификации 1997 г.

РИСУНОК 1. Составляющие национальной безопасности государства



Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., расширяющую зону континентального шельфа, а в 2001 г. была утверждена Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г., в рамках которой Арктической зоне был предоставлен статус отдельного регионального направления, в том числе, для обеспечения свободного выхода Военно-морских сил России в акваторию Атлантического океана, а также для доступа к богатствам исключительной экономической зоны и континентального шельфа [9].

В 2006 г. для выделения Арктики в особый объект государственного регулирования была принята Концепцией устойчивого развития Арктической зоны РФ [10].

В 2019 году система государственного управления реорганизована с учетом вызовов, связанных с развитием Арктической зоны и обеспечением национальной безопасности: утвержден новый состав и расширены полномочия Государственной комиссии по вопросам развития Арктики, образовано Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики, принято решение о расширении компетенции институтов развития Дальнего Востока на Арктическую зону [4].

В марте 2020 г. президент РФ подписал Указ «Об Основах государственной политики России в Арктике на период до 2035 года». В документе четко сформулированы национальные интересы в регионе и угрозы национальной безопасности.

В указанных документах в качестве приоритетов государственной политики России в Арктической зоне выделяются:

- развитие логистики Северного морского пути;
- обеспечение мирного и взаимовыгодного регионального сотрудничества в Арктике;
- рациональное использование и развитие ресурсной базы Арктического бассейна для обеспечения экономического роста России.

Стратегия констатирует, что значение Арктической зоны в социально-экономическом развитии Российской Федерации и обеспечении ее национальной безопасности обусловлено следующими основными факторами:

- Арктическая зона обеспечивает добычу более 80 % горючего природного газа и 17 % нефти в Российской Федерации;
- реализация в Арктической зоне крупнейших экономических (инвестиционных) проектов обеспечивает формирование спроса на высокотехнологичную и наукоемкую продукцию;
- континентальный шельф Российской Федерации в Арктике, по оценкам экспертов, содержит более 85,1 трлн м³ горючего природного газа, 17,3 млрд тонн нефти и является стратегическим резервом развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации;
- значение Северного морского пути как транспортного коридора мирового значения, используемого для перевозки национальных и международных грузов, будет возрастать в результате климатических изменений;
- в Арктической зоне располагаются объекты стратегических сил сдерживания в целях недопущения агрессии против Российской Федерации и ее союзников.

ФАКТЫ

Более
85,1

трлн м³
горючего
природного газа
и 17,3 млрд тонн
нефти содержит
континентальный
шельф РФ
в Арктике

в **2-
2,5**

раза
климат в Арктике
теплее быстрее,
чем в целом
на планете

По мнению разработчиков Стратегии, основными опасностями, вызовами и угрозами, формирующими риски для развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности, остаются:

- интенсивное потепление климата в Арктике, происходящее в 2–2,5 раза быстрее, чем в целом на планете;
- снижение естественного прироста населения, миграционный отток и, как следствие, сокращение численности населения;
- отставание значений показателей, характеризующих качество жизни в Арктической зоне, от общероссийских или средних по субъектам Российской Федерации значений;
- низкий уровень доступности качественных социальных услуг и благоустроенного жилья в населенных пунктах;
- высокий уровень профессионального риска, обусловленный превышением нормативов условий труда;
- отсутствие системы государственной поддержки завоза в населенные пункты, расположенные в отдаленных местностях, топлива, продовольствия и других жизненно необходимых товаров;
- низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, в том числе предназначенной для функционирования малой авиации и осуществления круглогодичных авиаперевозок по доступным ценам;
- низкая конкурентоспособность субъектов предпринимательской деятельности;
- несоответствие системы среднего профессионального и высшего образования в Арктической зоне реальной потребности экономики и социальной сферы;
- отставание сроков развития инфраструктуры Северного морского пути, строительства судов ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флотов от сроков реализации экономических проектов в Арктической зоне;
- отсутствие системы экстренной эвакуации и оказания медицинской помощи членам экипажей морских судов в акватории Северного морского пути;

- низкий уровень развития информационно-коммуникационной инфраструктуры;
- высокая доля локальной генерации электроэнергии на основе использования экономически неэффективного и экологически небезопасного дизельного топлива;
- низкий уровень инвестиций в основной капитал, осуществляемых в целях охраны и рационального использования природных ресурсов;
- несоответствие темпов развития аварийно-спасательной инфраструктуры и системы общественной безопасности темпам роста хозяйственной деятельности в Арктической зоне;
- рост конфликтного потенциала в Арктике, требующий постоянного повышения боевых возможностей группировок войск (сил) Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов в Арктической зоне.

Основные направления и задачи развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности лежат в следующих сферах:

- обеспечения военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации;
- развития науки и технологий в интересах освоения Арктики;
- охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности;
- развития международного сотрудничества;
- обеспечения защиты населения и территорий Арктической зоны от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- обеспечения общественной безопасности;
- социального развития;
- экономического развития;
- развития инфраструктуры, в том числе транспортно-логистической.

Необходимость расширения возможностей транспортно-логистической системы Северного морского пути связана с рядом его преимуществ, в частности – значительной экономией логистических издержек и времени, поскольку СМП представляет собой наикратчайший маршрут между европейской частью России и Дальним Востоком.

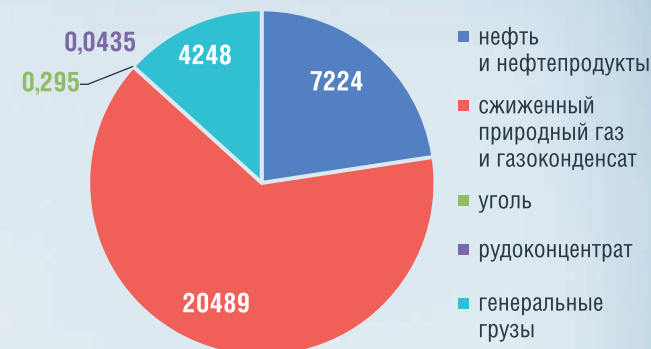
Развитие СМП важно и с точки зрения выполнения грузоперевозок между Азией и Европой, что нашло подтверждение и в Концепции внешней политики РФ 2016 г.

Согласно статистическим данным, объемные показатели грузоперевозок по маршруту Северного морского пути (СМП) по итогам 2022 года превысили значение в 34 млн т, что на 2 млн тонн выше, чем заявленный в стратегии развития СМП целевой показатель [3].

В основном грузовой поток по Северному морскому пути составляют (рис. 2):

- сжиженный природный газ и газоконденсат – 20 489 млн т в год;
- нефть и нефтепродукты – 7224 млн т в год;

РИСУНОК 2. Объем грузового потока по Северному морскому пути по итогам 2022 года, млн тонн



ФАКТЫ

20 489

млн т
СПГ и конденсата
перевозят ежегодно
по СМП

- генеральные грузы – 4248 млн т в год;
- уголь – 0,295 тыс. т в год;
- рудоконцентрат – 0,0435 тыс. т в год.

Позитивным аспектом следует считать активное участие портов Северо-Западного региона в развитии перевозок по СМП. Например, росту показателей грузооборота порта Приморск, помимо прочего, способствует освоение отечественным танкерным флотом Северного морского пути для доставки нефти в порты Китая. За последнее время как минимум два танкера совершили переход по маршруту Приморск – Жичжао. В последнее время есть все необходимые предпосылки для нарастания этой тенденции. Хотя для большинства танкеров все еще требуется ледовая проводка, но с постройкой танкеров арктического класса проход по Северному морскому пути должен упроститься.

В перспективе СМП может играть роль трансконтинентального евроазиатского морского коридора. В данном контексте можно рассматривать вариант сопряжения российского Северного морского пути и Морского шелкового пути КНР для создания нового конкурентного маршрута, связывающего Европу и государства Азиатско-Тихоокеанского региона.

Кроме того, очевидна экономическая выгода России от использования СМП. При соответствующем развитии Северный морской путь будет более привлекательным альтернативным маршрутом по отношению к текущей транспортно-логистической системе между

РИСУНОК 3. Риски применения сквозных цифровых технологий в транспортно-логистическом бизнесе

Риски больших данных	Риски промышленного интернета	Риски искусственного интеллекта и роботизации	Риски системы распределенного реестра
• нарушение конфиденциальности данных • неоптимальная система сбора и хранения больших данных • частичная или полная утрата данных вследствие ошибок обработки • обработка больших данных не дает результата для аналитиков • неготовность к переменам со стороны персона и руководства	• внедрение вредоносного программного обеспечения, перехват управления устройствами, разрушение и воровство устройств • уязвимости программного обеспечения • DDoS-атаки на вычислительную систему • сбой системы, сети, устройств в результате потери электропитания и других техногенных и природных факторов	• недостаток машинных мощностей для решения задач • вытеснения рабочей силы искусственным интеллектом • ошибки в обучении искусственного интеллекта и внедрении робототехники • уязвимость робототехники (программа, калибровка, контроллеры) • большинство людей предпочитают человеческий контакт	• блокировка и потеря средств из-за уязвимости кода или заикливания смарт-контракта • утечка персональных данных • атаки на узлы отправки и получения транзакций • захват контроля благодаря доминирующим вычислительным мощностям • отсутствие нормативного регулирования

европейскими портами и Азией через Суэцкий канал. Именно поэтому в настоящее время с точки зрения обеспечения своей безопасности России следует рассматривать Северный морской путь как приоритетную национальную транспортно-логистическую коммуникацию [5].

В свою очередь, в современных условиях именно экономическая безопасность выступает одной из важнейших качественных характеристик логистических систем, определяющих способность обеспечивать в процессе товародвижения установленные параметры материальных потоков и достаточную обеспеченность предприятия ресурсами для выполнения его хозяйственной деятельности [6].

По сути, экономическая безопасность – это, с одной стороны, защита субъекта от внешних и внутренних угроз, а с другой стороны, способность субъекта к стабильному функционированию в условиях противодействия негативному влиянию окружающей среды.

Логистика, как наука и сфера практической деятельности, связанная с оптимальной организацией и управлением материальными потоками, направлена на обеспечение эффективности функционирования и реализации стратегии хозяйственных субъектов, что позволяет утверждать: при отсутствии налаженной системы экономической безопасности предприятие не только не сможет реализовать свою стратегию, но рискует потерять конкурентные преимущества на рынке [7].

Одним из важнейших факторов повышения уровня экономической безопасности в области логистики следует считать применение современных цифровых информационных технологий в сфере товародвижения для обеспечения прозрачности и контролируемости материальных потоков в режиме онлайн.

ФАКТЫ
7224

МЛН ТОНН
нефти и нефтепродуктов перевозят ежегодно по СМП

В последние годы платформенная концепция управления цифровыми экосистемами в транспортной логистике является уже широко применяемой формой организации бизнеса, которая обеспечивает существенно более высокий уровень конкурентоспособности на рынке по отношению к традиционной работе логистических операторов и трансформирует способ предоставления клиентам цифровых логистических услуг. Общепринятая методика, применяемая в логистике в течение долгого времени, предполагала достижение экономических результатов исключительно за счет деятельности только самого предприятия и его ближайшего окружения в цепи поставки, в то время как использование цифровой платформенной концепции создает необходимые предпосылки для формирования развитых экосистем, в которых множество вовлеченных субъектов совместно создают высокую добавленную стоимость [8].

В то же время существует достаточно широкий спектр рисков применения сквозных цифровых технологий в транспортно-логистическом бизнесе (рис. 3).

В случае рассмотрения перспектив обеспечения безопасности логистики в Арктической зоне

применению современных цифровых технологий также следует уделять повышенное внимание.

В настоящее время среди морских перевозчиков относительно простые системы оповещения о бедствиях и обеспечения безопасности были заменены полноценными местными сетями, основанными на облачных технологиях, такими как программа электронной навигации. Эти сети – привлекательная цель для хакеров, поскольку они постоянно собирают, интегрируют и анализируют бортовую информацию, чтобы отследить положение судов, данные о грузе, технические проблемы и целый спектр вопросов, связанных с океанической средой.

По статистике, с начала года число кибератак на Россию увеличилось на 80 %. Наблюдается увеличение в 15 раз числа атак на объекты и ресурсы критической информационной инфраструктуры России, в частности, важные для функционирования ключевых областей деятельности государства и общества информационные системы и телекоммуникационные сети. К числу основных отраслей, ресурсы которых подвергаются кибератакам, относятся: промышленность, транспорт, связь, энергетика, финансовый сектор, здравоохранение, городское хозяйство. Отражено порядка 25 тысяч кибератак на государственные ресурсы. Порядка 1,2 тысяч атак были совершены на системы энерго- и водоснабжения, транспорта, экологического контроля и другие системы жизнеобеспечения населения [11].

Также следует подчеркнуть, что помимо сугубо экономических и технологических аспектов безопасности, наращивание хозяйственной деятельности России в Арктике, а также активная реализация проектов в регионе затрагивает и геополитические интересы различных стран.

Для того, чтобы избежать возникновения потенциально конфликтных инцидентов, Российской Федерацией был внесен целый ряд существенных изменений, касающихся использования маршрута Северного морского пути, к числу которых, в том числе, относятся утвержденные постановлением Правительства РФ от 18 сентября 2020 г. новые правила мореплавания. Согласно указанным изменениям, в акватории Северного морского пути устанавливается разрешительный порядок плавания судов. В связи с этим все иностранные суда и военные корабли обязаны уведомлять Москву о своих планах.

Россия реагирует на меняющуюся обстановку в Арктике и возникающие вызовы национальным интересам и безопасности в регионе, намереваясь более надежно прикрыть северное стратегическое направление.

Начиная с 2012 г. Министерство обороны РФ построило в регионе 475 объектов военной инфраструктуры общей площадью более 710 тыс. кв. метров, где сегодня размещены военнослужащие, техника и вооружение [5].

Военный потенциал России распределен между восточной и западной половинами ее арктической территории. В восточной части российской Арктики международные суда следуют из Азиатско-Тихоокеанского региона через узкий Берингов пролив, чтобы войти в Северный морской путь. В этом районе Россия построила радиолокационные станции, такие как «Сопка-2» на острове Врангеля и мысе Шмидта, для повышения осведомленности. Системы в восточной части Арктики создают купол, защищая обширную

ФАКТЫ

На 80 %

увеличилось число кибератак на Россию с начала 2023 года

арктическую береговую линию России и улучшая ее общую способность обнаруживать и отслеживать суда и самолеты.

Таким образом, обеспечение безопасности и национальных интересов России в Арктической зоне определяется целым рядом взаимосвязанных факторов, к числу которых, помимо прочего, относятся и вопросы безопасности логистики в регионе, поскольку устойчивое развитие перевозок по Северному морскому пути неотъемлемо связано с усилением экономического суверенитета России и укреплением внешнеторговых связей с государствами Азиатско-Тихоокеанского региона. ●

Литература

1. Федеральный закон «О безопасности» от 28.12.2010 № 390-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108546/ (дата обращения: 05.11.2023 г.).
2. Указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ (дата обращения: 05.11.2023 г.).
3. <https://www.rzd-partner.ru/wate-transport/news/gruzopotok-po-sevmorputi-prevysil-tselevoy-pokazatel-na-2-mln-t-v-2022-godu/> (дата обращения: 05.11.2023 г.).
4. Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/74810556/paragraph/1:0> (дата обращения: 05.11.2023 г.).
5. Анисимов, П.А. Вызовы национальной безопасности РФ в Арктическом регионе / П.А. Анисимов // Вестник РГГУ. Серия: Политология. История. Международные отношения. – 2020. – № 4–1. – С. 74–83. – DOI 10.28995/2073-6339-2020-4-74-83.
6. Дмитриев А.В. Диджитализация транспортной логистики / А.В. Дмитриев. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2018. – 161 с.
7. Логистика и управление цепями поставок: Учебник / В.В. Щербаков, Э.М. Букринская, Н.А. Гвилия [и др.]. – 1-е изд.. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 582 с.
8. Управление цепями поставок: Учебник / Н.А. Гвилия, А.В. Дмитриев, И.Ф. Рудковский [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2017. – 209 с.
9. Журавель В.П. Влияние изменения климата в Арктике на экономические, социальные проблемы в России и Европе // Цивилизационные аспекты развития Арктических регионов России: Материалы II научно-практической конференции (15 декабря 2020 г.): сборник статей. – М.: Издательский дом «ИМЦ», 2021. – 596 с. – С. 137–152.
10. Прогнозируемые вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации и направления их нейтрализации / Под общ. ред. А.С. Коржевского; редкол.: В.В. Толстых, И.А. Копылов. – М.: РГГУ, 2021. – 604 с.
11. <https://tass.ru/ekonomika/16138653> (дата обращения: 05.11.2023 г.).

KEYWORDS: *economic security, logistics, transport, freight transportation, Arctic, Northern Sea Route.*



Тюменский опытно-экспериментальный
**ЗАВОД ГЕОФИЗИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

**ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
В РОССИИ**



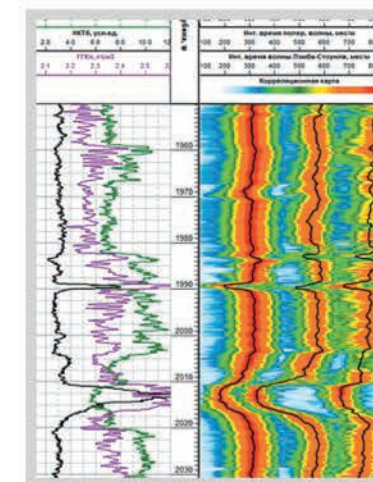
**25-ЛЕТНИЙ ОПЫТ И ЗНАНИЯ
В ИНЖИНИРИНГЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ**

- Система менеджмента качества соответствует ISO 9001:2015 и DNV для эксплуатируемой в море продукции
- Системы антикоррозионной защиты стандартизованы и соответствуют требованиям «Шлюмберге» и ISO 12944

**НЕ ОСТАНАВЛИВАЕМСЯ НА ДОСТИГНУТОМ,
В ПОСТОЯННОМ ПОИСКЕ СОВЕРШЕННЫХ РЕШЕНИЙ**

ОСНОВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

- инжиниринг и выпуск оборудования для нефтяной и газовой промышленности
- модернизация действующего парка оборудования
- совершенствование методов и технологий проведения геофизических исследований
- разработка собственных методико-алгоритмических и программных продуктов
- производство лубрикаторных установок



ПРОДУКЦИЯ

- геофизическая скважинная аппаратура МЕГА и PLT
- технологические комплексы для морских проектов
- устьевое оборудование для работ в скважинах при давлении на устье до 1000 атмосфер
- оборудование для ГРП
- спецтехника



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО,
НАДЕЖНОСТЬ,
ЭФФЕКТИВНОСТЬ!**

АО ТОЭЗГП
входит в группу компаний
«Шлюмберге» Россия

г. Тюмень, ул. Дружбы, 124
тел. +7 (3452) 52-00-62
TOEZGP-Sales@slb.com

ПОДВОДНЫЕ ЧЕЛНОЧНЫЕ ТАНКЕРЫ

для транспортировки углеводородов

Халворсен Андреас Лукас

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
Университет Ставангера,
магистр

Еремин Николай Александрович

Институт проблем нефти и газа РАН,
г.н.с.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
профессор, д.т.н.

Столяров Владимир Евгеньевич

Институт проблем нефти и газа
Российской академии наук (ИПНГ РАН),
научный сотрудник,
член НТС ПАО «Газпром»

Басниева Ирина Каплановна

Институт проблем нефти и газа
Российской академии наук (ИПНГ РАН),
научный сотрудник



ПРИМЕНЕНИЕ ТАНКЕРОВ ОБОСНОВАНО ВОЗМОЖНОСТЬЮ СНИЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА РАЗРАБОТКУ ШЕЛЬФОВЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ВОЗРАСТАНИЕМ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА В СВЯЗИ С УВЕЛИЧЕНИЕМ РАССТОЯНИЯ ДО БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ. ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА РЕГУЛЯРНО ТРЕБУЕТСЯ ПОЛНОЕ ИЛИ ЧАСТИЧНОЕ ЕГО ОТКЛЮЧЕНИЕ, ЧТО ЭКОНОМИЧЕСКИ НЕВЫГОДНО И ТРЕБУЕТ ПЕРИОДИЧЕСКИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ФИНАНСОВЫХ ВЛОЖЕНИЙ. ОБРАЗЦОМ ТАНКЕРА ЯВЛЯЕТСЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ СУДНО С ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ГИБРИДНЫМИ АЗИМУТАЛЬНЫМИ И ТУННЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С АККУМУЛЯТОРНЫМИ СИСТЕМАМИ, КОТОРОЕ ТРАНСПОРТИРУЕТ, КАК ПРАВИЛО, НЕФТЬ ИЛИ ГАЗ ОТ ПЛАТФОРМ ИЛИ ОДИНОЧНЫХ СКВАЖИН К ПРИБРЕЖНЫМ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИМ ЗАВОДАМ. В МАТЕРИАЛАХ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНЫХ ЧЕЛНОЧНЫХ ТАНКЕРОВ, СПОСОБНЫХ ОБЕСПЕЧИТЬ ТРАНСПОРТИРОВКУ МЕТАНА В ВИДЕ СНИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА, МЕТАНОЛА, А ТАКЖЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГАЗОВ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ (УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, ЖИДКОГО ВОЗДУХА, АЗОТА И ДРУГИХ). РАССМОТРЕНА ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНОГО ЧЕЛНОЧНОГО ТАНКЕРА ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ (ПОГРУЖЕНИЯ И ПОДЪЕМА) В БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЗОНЕ. ПРОВЕДЕН ОБЗОР ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ ПО УСТРОЙСТВУ И ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЕМ ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНЫХ ЧЕЛНОЧНЫХ ТАНКЕРОВ, УСЛОВИЙ ИХ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, А ТАКЖЕ ОПИСАНЫ ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ ТИПОВЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

THE USE OF TANKERS IS JUSTIFIED BY THE POSSIBILITY OF REDUCING CAPITAL COSTS FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE AND ARCTIC FIELDS, INCREASING THE COST OF CONSTRUCTION DUE TO AN INCREASE IN THE DISTANCE TO THE COASTAL INFRASTRUCTURE. FOR THE MAINTENANCE AND REPAIR OF ELEMENTS OF THE UNDERWATER PIPELINE, ITS COMPLETE OR PARTIAL SHUTDOWN IS REGULARLY REQUIRED, WHICH IS ECONOMICALLY UNPROFITABLE AND REQUIRES SIGNIFICANT FINANCIAL INVESTMENTS FROM TIME TO TIME. AN EXAMPLE OF A SHUTTLE TANKER IS A SPECIALIZED VESSEL WITH A DYNAMIC POSITIONING SYSTEM AND HYBRID AZIMUTH AND TUNNEL ENGINES WITH BATTERY SYSTEMS BOTH FRONT AND REAR, WHICH TRANSPORTS, AS A RULE, OIL OR GAS FROM OFFSHORE PLATFORMS OR SINGLE WELLS TO COASTAL REFINERIES. THE MATERIALS PRESENT THE RESULTS OF A STUDY ON THE POSSIBILITY OF UNDERWATER-ICE SHUTTLE TANKERS CAPABLE OF TRANSPORTING HYDROCARBONS OF THE CH₄ TYPE, AS WELL AS VARIOUS TYPES OF GAS SUCH AS CO₂, LIQUID AIR AND NITROGEN. THE ORGANIZATION OF THE SAFE OPERATION OF THE SUBSEA SHUTTLE TANKER DURING THE TRANSPORTATION OF HYDROCARBON PRODUCTS, MOVEMENTS (DIVES AND ASCENTS) IN THE ACCIDENT-FREE OPERATIONAL ZONE IS CONSIDERED. A REVIEW OF OPEN SOURCES OF LITERATURE ON THE DESIGN AND MANAGEMENT OF UNDERWATER-ICE SHUTTLE TANKERS, THE CONDITIONS OF THEIR NORMAL OPERATION, AS WELL AS POSSIBLE SCENARIOS OF OPERATION IN TYPICAL AND EMERGENCY SITUATIONS ARE DESCRIBED. THE ORGANIZATION OF THE SAFE OPERATION OF THE SUBSEA SHUTTLE TANKER TYPE DURING THE TRANSPORTATION OF HYDROCARBON PRODUCTS, MOVEMENTS (DIVES AND ASCENTS) IN THE ACCIDENT-FREE OPERATIONAL ZONE IS CONSIDERED. A REVIEW OF OPEN SOURCES OF LITERATURE ON THE DESIGN AND MANAGEMENT OF UNDERWATER-ICE SHUTTLE TANKERS, THE CONDITIONS OF THEIR NORMAL OPERATION, AS WELL AS POSSIBLE SCENARIOS OF OPERATION IN TYPICAL AND EMERGENCY SITUATIONS ARE DESCRIBED

Ключевые слова: аварийные ситуации, опасности, судно, челночный танкер, углеводороды, погружение на глубину, всплытие, маневрирование.

Статья подготовлена на основании материалов доклада «Подводный челночный танкер для жидкого CO₂», представленного на IX Международной научно-технической конференции «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 13 июля 2023 г.) [1, 2, 31]. Глубоководные проверки состояния трубопроводов, например с использованием бесконтактного метода магнитной томографии, являются технически сложным и дорогостоящим процессом, требующим наличия проектов, оборудования и квалифицированного персонала. Работы по строительству и эксплуатации подводного трубопроводного транспорта экономически оправданы только для уникальных и крупных месторождений углеводородов [3]. В качестве альтернативы подводным трубопроводам рассматривают применение надводных и подводных челночных танкеров [4, 27]. Количество шельфовых месторождений с возможностью отгрузки товарной нефти челночными танкерами приведено на рис. 1.

ФАКТЫ

10

надводных
челночных танкеров
ежегодно вводится
в эксплуатацию

Широкое применение надводные челночные танкеры находят на месторождениях шельфа Северного моря и Бразилии. Ежегодно вводится в эксплуатацию до 10 надводных челночных танкеров, 50 % из которых строится на верфях в Южной Корее. Надводные танкеры в своем жизненном цикле тратят от четверти до половины своего времени на погрузку нефти, тогда как рейс от морского месторождения до приемного берегового терминала достаточно короткий, при этом на надводный челночный танкер приходится до 50–60 циклов погрузки-разгрузки в год. Для изменения ситуации было учреждено совместное предприятие (СП) по управлению проектами строительства на верфи танкеров

дедвейтом (грузоподъемностью) от 42 тыс. до 120 тыс. т. Танкер для перевозки является плавучей конструкцией, которая способна испытывать значительные динамические нагрузки и зависит от условий эксплуатации. Компания ПАО «НОВАТЭК» зарезервировала производственные мощности судостроительной компании (ССК) «Звезда» на всю серию судов-газовозов для проекта «Арктик СПГ-2». Конструкция судов позволяет преодолевать лед толщиной до 2,1 м, при этом мощность силовой установки газозова составляет порядка 45 МВт, что сопоставимо с мощностью атомного ледокола. Арктические газозовы отличаются повышенной экологической безопасностью и используются в качестве основного топлива сжиженный природный газ (СПГ). Проект «Арктик СПГ-2» (общая мощность завода составит 19,8 млн т/год) станет вторым крупнотоннажным СПГ-заводом компании, после «Ямал СПГ». Установка первой технологической линии мощностью 6,6 млн т/год на гравитационной платформе на «Арктик СПГ-2» – заводе на Салмановском (бывшем Утреннем) ГКМ на полуострове Гыдан в Обской губе в 2023 г. приведена на рис. 2.

ПАО «НОВАТЭК» объявило в 2023 году о старте работ по проектированию строительства третьего крупнотоннажного Мурманского СПГ-завода, общая мощность завода составит 20,4 млн т/год. Для обеспечения завода газом предполагается построить собственный газопровод Ямал – Мурманск с объемом прокачки порядка 30 млрд м³/год и протяженностью 1400 км. Схема размещения крупнотоннажных СПГ-заводов в России приведена на рис. 3.

Компания Equinor [5] представила базовый проект подводно-подледного челночного танкера Subsea Shuttle Tanker (SST) грузоподъемностью порядка 34 000 тонн. Технические решения сочетают в себе возможности и экономичность работы челночного танкера независимо от погодных условий. Концепция использования подводных транспортных средств для организации коммерческих перевозок была впервые выдвинута Якобсеном [6] и Тейлором и др. [7] в 1970-х годах. Проектом было предложено использовать атомные подводные лодки различных размеров

РИСУНОК 2. Установка технологической линии на полуострове Гыдан в Обской губе



РИСУНОК 1. Количество шельфовых месторождений с отгрузкой товарной нефти челночными танкерами



Источник: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Shuttle-tankers-safe-flexible/efficient.html>, 2017

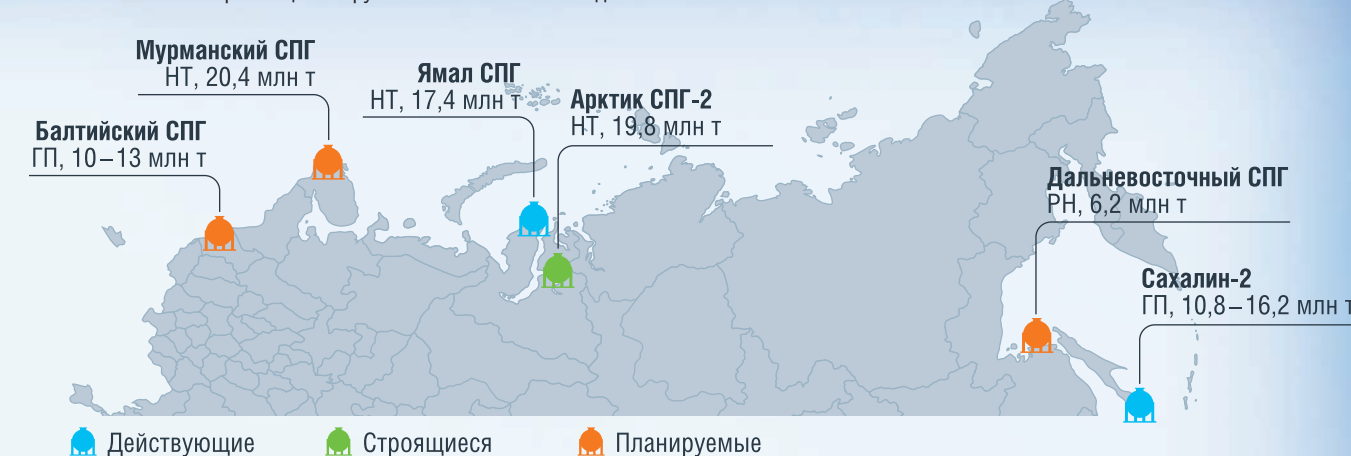
ФАКТЫ

До 2,1 м

толщина льда, которую способно преодолеть судно-газовоз с силовой установкой мощностью 45 МВт

(грузоподъемностью от 20 000 до 420 000 тонн) для транспортировки сырой арктической нефти. В 1980-х годах были представлены проекты подводных арктических танкеров для сжиженного природного газа (СПГ): вариант с грузоподъемностью порядка 660 800 тонн и вариант с возможностью обеспечить транспортировку 727 400 тонн по проекту Якобсена и др. [8]. Решение было представлено Брандтом [9]. Изобретатель Эллингсен [10] предложил решение для перевозки грузов: подводный «грузовой поезд», состоящий из связанных между собой цистерн, с автономными двигательными установками, которые могут быть размещены в носовой или кормовой части судна. Высокоэффективный огромный подводный транспортный планер – еще одна идея, предложенная Эллингсеном и другими [10]. Массивные гидродинамические крылья подводно-подледного судна предназначались для хранения цистерн с углеводородами. Ксинг [11] в дальнейшем расширил идею применения, предложив подводный транспорт для перевозки грузоподъемностью 1500 тонн со средним энергопотреблением менее 10 кВт. Стоит отметить,

РИСУНОК 3. Схема размещения крупнотоннажных СПГ-заводов в России



что работы не вышли за рамки предложений по концептуальному проектированию. Чтобы восполнить этот пробел, Ма и др. [26] определили стандартный проект подводно-подледного челночного танкера, который включает в себя всесторонние глобальные стандарты проектирования. Основная цель подводно-подледного челночного танкера – транспортировка сжиженного CO₂ с морских или береговых объектов к подводным скважинам или береговым терминалам для непосредственной закачки в места его подземного хранения. Подводный танкер может быть создан для функционирования по всему миру. На рис. 4 представлен автономный подводный добычный комплекс СПГ с использованием подводного челночного танкера. В работах [28–30] была предложена подводная технология сжижения природного газа в противотоке с таким активным хладагентом, как жидкий воздух, температура сжижения которого намного ниже, чем температура сжижения углеводородного газа, основную фракцию которого составляет метан.

Хотя CO₂ является полезной нагрузкой, танкер может перевозить и другие виды грузов, включая подводное оборудование, углеводороды и электроэнергию (хранение с помощью батарей). Существуют различные стратегии для применения подводно-подледного челночного танкера для решения проблемы выброса углерода в атмосферу. Подводный танкер работает на электричестве и не выбрасывает в атмосферу вредных веществ, что обеспечивает экологическую устойчивость судоходства. Подводные челночные танкеры могут эффективно и безопасно работать в полной темноте, при плохих каналах связи.

По этой причине челночные танкеры обычно оснащаются усовершенствованным набором датчиков (гидролокатор, камеры и лазеры), способных предоставлять информацию об ориентации транспортного средства, высоте, глубине и абсолютном или относительном положении. Следует отметить, энергетический переход или декарбонизация не проходит без сбоев и проблем. Так, например, Shell вышла из Northern Endurance Partnership, британского проекта CCS, направленного на декарбонизацию промышленности. Другой акционер, National Grid, также вышел из проекта, отказавшись от своих планов по строительству трубопроводов для транспортировки CO₂ в Северное море. Пакеты акций

ФАКТЫ

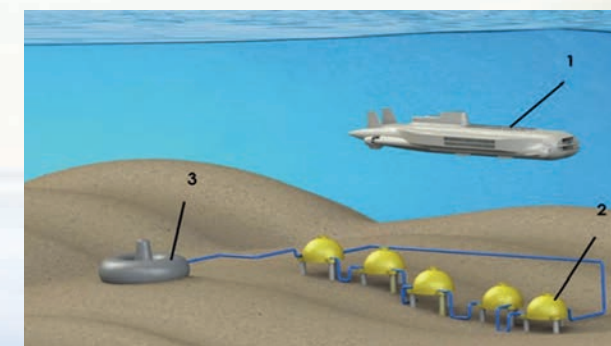
34

тыс. тонн

грузоподъемность подводно-подледного челночного танкера Subsea Shuttle Tanker компании Equinor

были приобретены оставшимися партнерами по проекту – BP, Equinor и TotalEnergies. Способность обеспечивать приемлемую отдачу от инвестиций является основным препятствием на пути к декарбонизации. Компании рассчитывают на государственную политику и нормативную поддержку, которые помогут преодолеть этот разрыв. На рис. 5 показано местоположение по отношению к морским цепочкам поставок для мест улавливания и хранения углерода (CCS или УХУ). Базовый подводный танкер в решениях предназначен для использования как в норвежском секторе Северного моря, где Sleipner, Utgard и Snøhvit – три активных проекта CCS или УХУ [12], так и возможно будущих местах хранения CO₂ компании ПАО «НОВАТЭК» [12, 13]. В рамках инициатив CO₂, образующийся при добыче углеводородов, централизованно улавливается и закачивается обратно в места улавливания и хранения углерода.

РИСУНОК 4. Подводный добычный промысел с каскадом резервуаров СПГ



1 – подводный челночный танкер, 2 – каскад резервуаров СПГ, 3 – подводный добычный комплекс

РИСУНОК 5. Места отгрузки и хранения CO₂: а – ПАО «НОВАТЭК», б – Equinor



ПАО «НОВАТЭК» успешно завершило этап международной сертификации участков для долгосрочного подземного хранения углекислого газа (CO₂) на полуостровах Ямал и Гыдан и получило сертификаты обоснованности выбора участков от независимого сертификационного и классификационного общества Det Norske Veritas (сертификаты ISO 27914:2017 «Геологическое хранение углекислого газа» и DNVGL-SE-0473 «Сертификация площадок и проектов для геологического хранения углекислого газа»). Лицензионные участки недр Обский (Ямал) и Тадебяхинский (Гыдан) имеют подтвержденный расчетами потенциал для геологического хранения углекислого газа в объеме не менее 600 млн т CO₂ каждый. Наличие хранилищ является важным элементом стратегии декарбонизации производственных кластеров СПГ и низкоуглеродной газохимии компании, который позволяет размещать углекислый газ как с собственных производств, так и оказывать услуги по подземному хранению CO₂ третьим сторонам. Для обеспечения безопасного и безотказного хранения необходимо доскональное понимание условий конкретного участка – от планирования до строительства, закачки и закрытия объекта. Проект «Северное сияние» Equinor ASA [13], который предполагается ввести в эксплуатацию в 2024 году, будет транспортировать CO₂, произведенный в результате наземной промышленной деятельности, не связанной с добычей нефти, на месторождение Тролль для закачки в пласт. Эти норвежские месторождения были выбраны, так как в настоящее время они используются для хранения CCS или УХУ.

В основе проектов заложено предположение, что большая часть углекислого газа, выделяемого в результате промышленных процессов, может быть собрана и сохранена.

В 2021 году 2,7 миллиарда тонн эквивалента углекислого газа (CO₂e) парниковых газов (ПГ) были выброшены в атмосферу крупными предприятиями с прямыми выбросами (т.е. предприятиями, выбрасывающими более 25 000 тонн CO₂e в год) в Соединенных Штатах,

ФАКТЫ

В 1980-х годах

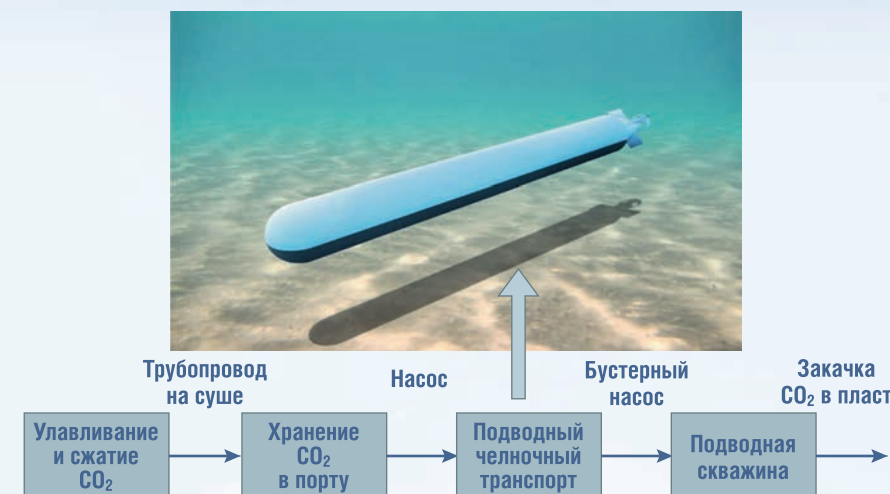
были представлены проекты подводных арктических танкеров для сжиженного природного газа с грузоподъемностью 660 800 тонн и 727 400 тонн

что составляет примерно половину всех выбросов парниковых газов в атмосферу США. Масштаб ежегодной закачки воды при заводнении месторождений в США примерно эквивалентен объему, необходимому для постоянного геологического хранения парниковых газов из крупных источников прямых выбросов. Любой экономически обоснованный подход, который может увеличить объем хранения CCS или УХУ в глобальном масштабе, необходим для снижения преувеличенной тенденции повышения средней глобальной температуры [15, 16]. Производственный цикл улавливания-сжатия-хранения-челночного транспорта-подводной закачки-захоронения CO₂ (расширенный CCS или УХУ) с подводно-челночной транспортировкой (SST) представлен на рис. 6.

Безопасность эксплуатации подводно-подледного челночного танкера (SST)

Безопасность в морском секторе, особенно при эксплуатации таких специализированных судов, как подводные челночные танкеры, является критически важной для предотвращения катастроф и минимизации рисков. Понимание и учет SOE (Safety Operating Envelope, Требования к безопасному рабочему диапазону) представляют собой важный инструмент в этом

РИСУНОК 6. Производственный цикл улавливания – сжатия – хранения – челночного транспорта – подводной закачки – захоронения CO₂



процессе. Возможные аварии могут привести к ряду проблем: потере судна, утечке CO₂ или углеводородов, повреждению морских установок или получению травм третьими лицами. Эти последствия повлекут за собой потерю имущества, нанесение ущерба окружающей среде и гибель людей. При проектировании операций подводно-подледного челночного танкера безопасность стоит на первом месте. Всплытие подводно-подледного челночного танкера – это маневр перехода из подводно-подледного в надводное положение. Непотоплемость подводно-подледного челночного танкера – это его способность сохранять плавучесть и необходимую остойчивость при затоплении одного или нескольких отсеков вследствие повреждения корпуса. Остойчивость подводно-подледного челночного танкера – это его способность возвращаться в положение равновесия после прекращения воздействия факторов, нарушающих равновесие. Погружение подводно-подледного челночного танкера – это его переход из надводного в подводное путем погашения запаса плавучести за счет заполнения цистерн главного балласта. Подводный челночный танкер – это подводное судно, способное переносить углеводороды на значительные расстояния под водой и при этом погружаться, всплывать и длительное время находиться в подводном положении. Подход, основанный на SOE, обеспечивает комплексный и систематизированный способ обеспечения безопасности на море, что крайне важно для защиты жизни, имущества и окружающей среды. Понимание и учет SOE представляют собой важный инструмент для обеспечения безопасности, предотвращения катастроф и минимизации рисков. Современные инженерные решения и практики в области безопасности, особенно в такой критической сфере, как подводные челночные танкеры, часто основываются на опыте, накопленном в других сферах. В этом контексте опыт, полученный при разработке и эксплуатации надводных и подводных танкеров – использовать SOE для улучшения безопасности, оказался ценным ресурсом. С точки зрения определения приоритетов необходимо ввести возможные ограничения.

ФАКТЫ

1200

млн тонн

потенциальный объем хранения углекислого газа Обского и Тадебяхинского лицензионных участков недр

Определение ограничений на передвижение

SOE может установить максимальные и минимальные пределы для скорости, глубины, угла наклона и других параметров, в пределах которых судно может безопасно функционировать. Требования к безопасному рабочему диапазону передвижений и ограничений использовались для нескольких типов подводных судов [17] и для оценки их эксплуатационной безопасности [10]. Требования к безопасному рабочему диапазону влияют на конструкцию подводных судов и оказывает существенное влияние на динамику и системы управления. Анализ влияния расположения кормовой плоскости управления, проведенный британской оборонной технологической компанией QinetiQ, показал, что наиболее выгодной конструкцией является X-образная кормовая компоновка. Парк и Ким [24, 25] изучили глубинные характеристики подводных судов и сконструировали систему защиты в соответствии с Требованиями к безопасному рабочему диапазону во время заклинивания кормовой плоскости управления. Существует два метода представления безопасного рабочего диапазона: первый – через безопасное маневрирование, которое показывает пределы безопасности для начальных условий дифферентовки; а второй – через диаграммы ограничения маневрирования, которые показывают пределы безопасности для угла тангажа плоскости управления кормой.

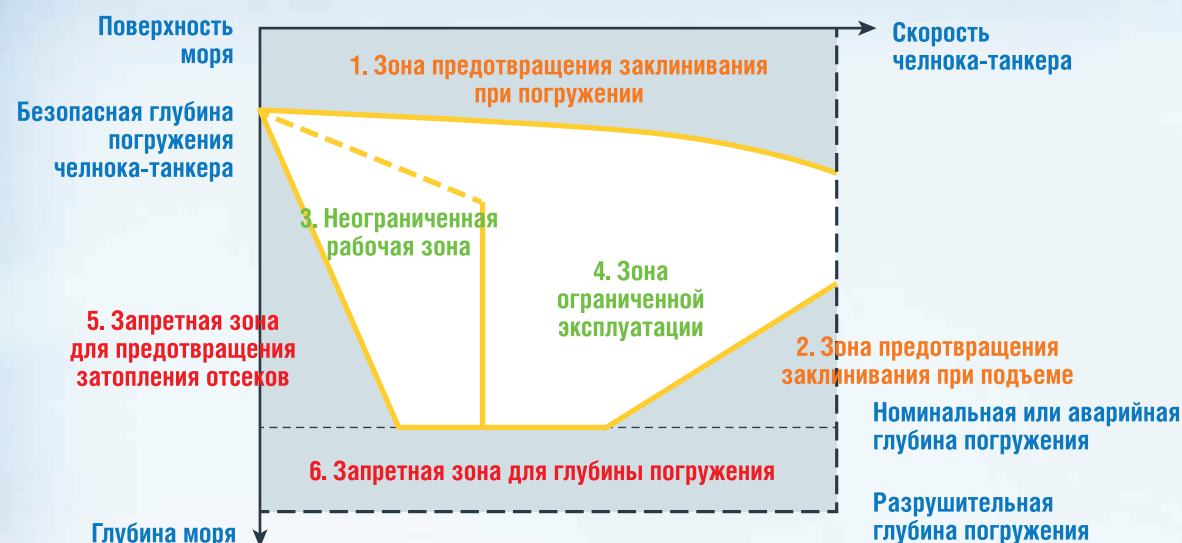
Анализ условий эксплуатации

Погодные условия, течения, температура и давление воды могут варьироваться и оказывать влияние на SOE. Путем мониторинга и анализа этих факторов можно адаптировать SOE к текущим условиям.

Системы предупреждения и автоматического управления

В случае выхода параметров за пределы установленного SOE, автоматизированные системы могут предупреждать экипаж или даже автоматически корректировать движение судна для возвращения в безопасные рамки.

РИСУНОК 7. Требования к безопасной рабочей зоне функционирования подводно-подледного челночного танкера углеводородов



Обучение и подготовка экипажа

Экипаж должен быть хорошо знаком с SOE для своего судна и знать, как действовать в экстремальных условиях. Регулярные тренировки и симуляции могут помочь поддерживать высокий уровень подготовки.

Постоянное обновление

По мере того как технологии развиваются, SOE также должны регулярно пересматриваться и обновляться. Новые исследования, данные и опыт эксплуатации могут привести к корректировке установленных ограничений.

Взаимодействие с другими судами и морскими объектами

SOE также должны учитывать возможное взаимодействие с другими морскими объектами, например, нефтяными платформами или другими судами. Это может потребовать дополнительных ограничений или протоколов для предотвращения столкновений и других инцидентов.

Все эти исследования и инциденты подчеркивают, что дизайн, конструкция и безопасные рабочие практики играют решающую роль в обеспечении безопасности подводных судов. При этом важно не только определить потенциальные угрозы, но и разработать стратегии и технологии для их предотвращения. Обеспечивая достаточную маневренность подводно-подледного челночного танкера в условиях, когда происходят сбои. Требования к безопасному рабочему диапазону призваны снизить операционный риск. Иллюстрация безопасной рабочей зоны подводно-подледного челночного танкера показана на рисунке 7 в виде графика зависимости глубины от скорости.

Существует шесть зон, составляющих операционную оболочку безопасности подводно-подледного челночного танкера. Каждая зона высвечивает определенные аспекты безопасности, которые должны быть учтены при проектировании и эксплуатации:

ФАКТЫ

2,7

млрд тонн

парниковых газов
были выброшены
в атмосферу
крупными
предприятиями
в 2021 году

- Зона предотвращения заклинивания при погружении:** при возникновении заклинивания плоскости управления танкера возникает риск превышения его номинальной глубины, что может вызвать разрушение его корпуса;
- Зона предотвращения заклинивания при подъеме:** когда происходит заклинивание плоскости управления, подводный челночный танкер подвергается опасности пробить поверхность воды или столкнуться с надводными судами;
- Неограниченная рабочая зона:** эта зона отличается низкой скоростью и большим запасом глубины погружения челнока-танкера. При любом угле тангажа и любом угле плоскости управления подводным челночным танкером можно просто маневрировать;
- Зона ограниченной эксплуатации:** эта зона отличается высокой скоростью плавания. В этой зоне у подводно-подледного челночного танкера наблюдается меньшая маневренность. В результате как угол тангажа, так и угол плоскости управления должны быть ограничены определенными значениями;
- Зона предотвращения затопления отсеков:** в этой зоне недостаточно подъемной силы из-за низкой скорости челнока-танкера. Плавание в этой зоне подвергает танкер опасности затопления отсеков в случае разрушения корпуса;

- Запретная зона или зона избегания погружения подводно-подледного челночного танкера ниже номинальной или аварийной глубины погружения:** подводный челночный танкер плавает на глубине, превышающей номинальную или аварийную глубину погружения, и поэтому находится в зоне риска разрушения корпуса челнока.

Требования к безопасному рабочему диапазону помогают выявить любые возможные проблемы с проектированием систем управления или гидродинамики на последней стадии проектирования подводно-подледного челночного танкера. Для эффективного управления рисками при эксплуатации важно обеспечить тренировку и подготовку экипажа, а также оснащение судна системами контроля и мониторинга, чтобы всегда знать, в какой зоне находится танкер и какие действия нужно предпринимать в случае перехода между этими зонами. Требования к безопасному рабочему диапазону являются критическим аспектом в проектировании и эксплуатации подводных челночных танкеров. Эти требования обеспечивают, чтобы подводное судно могло безопасно функционировать с учетом глубины и скорости.

Для танкера критическими являются опасности, связанные с потерей плавучести или устойчивости на определенной глубине. Для обеспечения безопасности необходимо учитывать следующие типы угроз и способы их преодоления:

- Затопление отсеков.** Потеря плавучести из-за внезапного затопления отсека может привести к катастрофическим последствиям. Недопущение последствий возможно на разных стадиях жизненного цикла:
 - Проектирование:** наличие изолирующих отсеков или отделений с автоматическими запорными устройствами может ограничить затопление.
 - Эксплуатация:** периодические проверки и обучение по аварийным ситуациям.
- Нерациональное погружение.** Может произойти из-за ошибок управления или неисправности системы управления. Недопущение причин возможно на стадиях:
 - Проектирование:** введение систем автоматического контроля глубины или датчиков глубины для предотвращения экстремального погружения.
 - Эксплуатация:** обучение экипажа работе с управляющими системами.
- Гидродинамические и гидростатические силы.** В условиях аварии подводное судно может использовать гидродинамические силы (силы, создаваемые движением) для противодействия гидростатическим силам (силам, которые пытаются утопить судно).
 - Проектирование:** оптимизация формы корпуса для максимальной устойчивости и маневренности. Наличие дополнительных балластных систем для быстрого выброса воды в экстренных ситуациях.
 - Эксплуатация:** обучение экипажа использованию балластных систем в экстренных ситуациях.
- Аварийное восстановление.** При проектировании необходимо учесть средства и методы для быстрого и эффективного восстановления плавучести или стабилизации судна после аварии.

ФАКТЫ

6 ЗОН

составляют
операционную
оболочку
безопасности
подводно-
подледного
челночного
танкера

Проектирование: введение аварийных балластных систем, автоматических систем восстановления плавучести или других спасательных механизмов.

Эксплуатация: регулярные тренировки и учения с экипажем для отработки действий в экстренных ситуациях.

Предотвращение аварий и обеспечение безопасности эксплуатации подводно-подледного челночного танкера требует тщательного сочетания проектирования и эксплуатационных практик. Это обеспечит защиту экипажа и сохранность груза, а также минимизирует возможные экологические риски.

Затопление отсеков подводно-подледного челночного танкера

Затопление отсеков на подводном танкере-челноке может стать катастрофическим на определенной глубине и в результате следующих причин: ошибочное поведение, а именно – оставление люков недостаточно задраенными, погружение на неверную глубину и т.п.; пробитие корпуса челнока в результате столкновения; неправильная конструкция блокирующих механизмов напорной границы, которые направлены на предотвращение случайного проникновения воды, и отсутствие контроля качества во время строительства или реновации оборудования, используемого для измерения подводно-подледного давления.

Любая из перечисленных ошибок не является критической, если подводный танкер-челнок находится на поверхности, но она может стать катастрофической, если возникнет под водой.

С учетом ситуации и технической оснащенности судна необходимо обратить внимание на моменты:

- Мониторинг и аварийная сигнализация: необходимо наличие высокочувствительной системы мониторинга, способной обнаруживать проникновение воды в отсеки. Это позволит быстро реагировать даже на незначительные утечки.

- **Быстродействующие автоматические системы.** Эти системы могут автоматически закрывать двери, люки и клапаны при обнаружении проникновения воды.
- **Резервные системы.** Важно иметь автономные источники, которые смогут поддерживать жизненно важные системы при полном отключении основного питания.
- **Обучение экипажа.** Регулярные тренировки и учения для отработки действий в экстренных ситуациях критически важны. Экипаж должен знать, что делать при проникновении воды, как быстро реагировать и как минимизировать ущерб.
- **Механическая изоляция.** Клапаны корпуса с механическим приводом и другие изолирующие устройства должны быть легко доступны и быстро реагировать, чтобы минимизировать затопление.
- **Дизайн и конструкция.** Отсеки, наиболее уязвимые для затопления, такие как отсеки с аккумуляторами или главные машинные, следует размещать таким образом, чтобы минимизировать риск затопления и обеспечить возможность восстановления.
- **Аудит и контроль качества.** Регулярные проверки состояния оборудования, включая блокирующие механизмы, а также системы контроля давления, должны проводиться для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации.

Риск увеличивается с глубиной погружения подводно-подледного челнока-танкера. Затопление отсеков на подводном челночном танкере – это серьезная угроза, которая требует комплексного и многогранного подхода, сочетающего в себе передовые технологии, строгие процедуры и обучение персонала.

Погружение на аварийную глубину

Погружение на аварийную глубину является серьезной угрозой, особенно для подводных челночных танкеров, которые работают на высоких скоростях. Главная задача при этом – вовремя идентифицировать проблему и принимать меры для немедленного решения ситуации. Несколько аспектов, которые стоит рассмотреть:

- **Системы быстрого реагирования.** Эти системы должны автоматически детектировать неисправность или аварийное положение и вовремя принимать решение о снижении скорости, изменении угла гидропланов или активации аварийных систем.
- **Резервные системы управления.** В случае отказа основной системы управления кормовыми или носовыми гидропланами, на борту должна быть резервная система управления, позволяющая восстановить управляемость судна.
- **Обучение экипажа.** Экипаж должен быть обучен действиям в случае аварийных ситуаций, включая заклинивание гидропланов и погружение на аварийную глубину. Это включает в себя как теоретическое обучение, так и практические учения.
- **Предупредительные системы.** Системы предупреждения, такие как сонары или датчики глубины, могут обеспечивать предупреждение о возможных препятствиях или изменениях в окружающей среде, что позволит экипажу вовремя реагировать.

- **Адаптивные системы управления.** Современные технологии позволяют создавать адаптивные системы, которые могут автоматически корректировать работу подводно-подледного челнока в зависимости от текущих условий.
- **Тщательное техническое обслуживание.** Регулярные проверки и обслуживание систем судна, критически важны для обеспечения их надежной работы.

Аварийное погружение на глубину требует комплексного и многогранного подхода для минимизации рисков. Сочетание технических средств, обучение экипажа и преактивного управления может обеспечить безопасность и эффективность работы.

Вывод

Проведение анализа «Требований к безопасному рабочему диапазону» является фундаментальным этапом в проектировании танкеров. Это обеспечивает высокую степень безопасности, надежности и экономической эффективности эксплуатации судов.

Заключение

Подводный челночный танкер должен быть спроектирован с использованием «Требований к безопасному рабочему диапазону». В последнее время было проведено много исследований по этой теме, чтобы убедиться, что различные компоненты должным образом учтены для достижения надлежащего уровня безопасности. Ключевыми аспектами, которые стоит учесть при реализации такого анализа, являются:

- **Сценарии эксплуатации:** необходимо определить все возможные рабочие сценарии для подводно-подледного челночного танкера, включая погрузку/разгрузку, навигацию на разных глубинах, маневрирование в различных условиях моря и так далее.
- **Анализ потенциальных угроз:** каждый рабочий сценарий несет в себе потенциальные риски. Это могут быть угрозы столкновения, гидродинамические угрозы, технические неисправности и многие другие.
- **Моделирование и симуляция:** с использованием современного

программного обеспечения можно моделировать поведение подводно-подледного челночного танкера в различных условиях, что позволяет исследовать его реакцию на потенциальные угрозы.

- **Интеграция систем безопасности:** на основе анализа можно интегрировать необходимые системы безопасности, такие как автоматические системы управления, предупредительные системы и др.
- **Обратная связь и итерационное проектирование:** после первоначального проектирования следует провести серию тестов и симуляций, чтобы выявить потенциальные слабые места. Это позволит инженерам вносить коррективы в дизайн на основе полученных данных.
- **Обучение и подготовка экипажа:** с пониманием рабочего диапазона и потенциальных рисков можно разработать программы обучения для экипажа, чтобы они были готовы эффективно и безопасно работать на подводном челночном танкере.
- **Постоянный мониторинг и адаптация:** технологии и условия эксплуатации постоянно меняются. Важно регулярно пересматривать и обновлять анализ безопасного рабочего диапазона для учета новых данных или изменений в операционной среде. ●

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис 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 по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования)», номер гос. рег. № НИОКТР в РОСРИД 122022800270-0.

Литература

- Fullenbaum, R., Fallon, J., Flanagan, B., 2013. Oil & Natural Gas Transportation & Storage Infrastructure: Status, Trends, & Economic Benefits. Technical report. IHS Global Inc. <https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2014/12/API-Infrastructure-Investment-Study.pdf>.
- Palmer, A., King, R., 2008. Subsea Pipeline Engineering, second ed. PennWell Corp, Oklahoma, USA.
- Wilson, J., 2008. Shuttle tankers vs pipelines in the GOM frontier. World Oil 229 (4), 149 – 151.
- Vesturing, C., 2019. Shuttle Tankers in Brazil assessed Sep 2020 from. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/shuttle-tankers-Brazil.html>.
- Equinor Energy AS, 2019. RD662093 Subsea Shuttle System.
- Jacobsen, L.R., 1971. Subsea Transport of Arctic Oil – A Technical and Economic Evaluation. Offshore Technology Conference, OTC-1425-MS, Houston, TX, USA, 2 May 1971. <https://doi.org/10.4043/1425-MS>.
- Taylor, P., Montgomery, J., 1977. Arctic Submarine Tanker System. Offshore Technology Conference, OTC-2998, Houston, TX, USA, 2 May 1977. <https://doi.org/10.4043/2998-MS>.
- Jacobsen, L., Lawrence, K., Hall, K., Canning, P., Gardner, E., 1983. Transportation of LNG from the arctic by commercial submarine. Marine Technology and SNAME News 20 (4), 377–384. <https://doi.org/10.5957/mt1.1983.20.4.377>.
- Brandt, H., Fruhling, C., Hollung, A., Schiemann, M., Vob, T., 2015. A Multipurpose Submarine Concept for Arctic Offshore Operations, OTC Arctic Technology Conference. OTC-25501-MS, Copenhagen, Denmark. March 2015. <https://doi.org/10.4043/25501-MS>.
- Ellingsen, K.E., Ravndal, O., Reinas, R., Hansen, J.H., Marra, F., Myhre, E., Dupuy, P.M., Sveberg, K. (2020). RD677082 Subsea Shuttle System.
- Xing, Y., Ong, M.C., Hemmingsen, T., Ellingsen, K.E., Reinas, L., 2021. Design considerations of a subsea shuttle tanker system for liquid carbon dioxide transportation. J. Offshore Mech. Arctic Eng. 143 (4), 045001 <https://doi.org/10.1115/1.4048926>.
- Norwegian Petroleum Directorate (NPD), 2020. Carbon Capture and Storage assessed Aug 2020 from. <http://www.norskpetsroleum.no/en/environment-and-technology/carbon-capture-and-storage/>.

- Equinor ASA, 2020. Northern Lights CCS assessed Sep 2020 from. <https://www.equinor.com/en/what-we-do/northern-lights.html>.
- Papanikolaou, A., 2014. Ship Design: Methodologies of Preliminary Design. Springer, Dordrecht Heidelberg New York London.
- Carbon Capture and Storage Association (CCSA), 2020. What Is CCS?, assessed Sep 2020 from. <http://www.ccsassociation.org/what-is-ccs/>.
- International Energy Agency (IEA), 2010. Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050. OECD Publishing, Paris, France.
- Kery, S.M., Eaton, M., Henry, S.C., Vasilakos, J., Kery, S.M., 2018. On the Creation of a Safe Operating Envelope for Ships. SNAME Maritime Convention, Rhode Island, USA.
- Lombaerts, T.J.J., Schuet, S.R., Wheeler, K.R., Acosta, D., Kaneshige, J.T., 2013. Safe maneuvering envelope estimation based on a physical approach. In: AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2013, Boston, MA.
- DNV, 2018. Rules for Classification, Naval Vessels, Part 4 Sub-surface Ships (Chapter 1) Submarines.
- Marchant, P., Kimber, N., 2014. Assuring the Safe Operation of Submarines with Operator Guideline. Underwater Defence Technology, Liverpool, UK.
- Giddings, A.J., Louis, W.L., 1966. Overcoming submarine control-surface jams and flooding casualties. Naval Engineerings Journal 78 (6), 1055–1067. <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1966.tb04132.x>.
- Tingle, C., 2009. Submarine accidents a 60-year statistical assessment. Professional Safety 54 (9).
- Burcher, R., Rydill, L., 1994. Concepts in Submarine Design. Cambridge University Press, Cambridge.
- Park, J.-Y., Kim, N., 2017. Design of a safety operational envelope protection system for the pitch angle of a submarine. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment 231 (2), 441– 451. <https://doi.org/10.1177/1475090216644281>.
- Park, J.-Y., Kim, N., 2018. Design of a safety operational envelope protection system for a submarine. Ocean Engineering 148, 602–611. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.016>.
- Ma, Y., Xing, Y., Ong, M.C., Hemmingsen, T.H., 2021b. Baseline design of a subsea shuttle tanker system for liquid carbon dioxide transportation. Ocean Engineering 240. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109891>.
- Халворсен А.Л. «Обеспечение системы контроля за траекторией движения подводно-подледного челночного танкера», магистерская диссертация, научный руководитель, д.т.н., профессор Еремин Н.А., Губкинский университет, кафедра освоения морских месторождений, 128 с., 2023 г.
- Кульпин Д.Л. Научная не фантастика – Арктика / Д.Л. Кульпин // Золотухинские чтения. Нефть, газ и энергетика в Арктическом регионе: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Архангельск, 20–21 апреля 2023 года. – РУС: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2023. – С. 105–110. – EDN NIISJB.
- Новая технология сжижения природного газа / Ч.С. Гусейнов, Е.Б. Федорова, Д.Л. Кульпин, В.Н. Левдик // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2023. – № 2 (134). – С. 14–16. – EDN PQQIE.
- Гусейнов Ч.С. Подводное сжижение газа / Ч.С. Гусейнов, Д.Л. Кульпин // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2018. – № 5 (77). – С. 46–49. – EDN UOAPBA.
- Подводный челночный танкер для жидкого CO₂ / Н.А. Еремин, А.Л. Халворсен // Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ОМНР – 2023): IX Международная научно-техническая конференция, п. Развилка, 12–14 июля 2023 года: тезисы докладов, 99 с. – Москва: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2023. – С. 69.

KEYWORDS: *emergency situations, hazards, vessel, shuttle tanker, hydrocarbons, diving, surfacing, maneuvering.*

МИРОВОЙ ОПЫТ компримирования углекислого газа

В СТАТЬЕ ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМПРИМИРОВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, ПОКАЗАНЫ ОСНОВНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СЖАТИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ В ГАЗОКОМПРЕССОРНОМ ОБОРУДОВАНИИ, А ТАКЖЕ ПРИВЕДЕНЫ ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКАМ КОМПРИМИРОВАНИЯ CO₂. ПРЕДСТАВЛЕНЫ ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОМПРЕССОРОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ, ПОКАЗАНЫ ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ CO₂ И УСПЕШНЫЙ ОПЫТ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ИХ УСЛУГ В КРУПНЫХ ПРОЕКТАХ ПО УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

THIS PAPER ANALYZES THE FEATURES OF CARBON DIOXIDE COMPRESSION, SHOWS THE MAIN THERMODYNAMIC COMPRESSION PROCESSES CARRIED OUT IN GAS COMPRESSOR EQUIPMENT, AND ALSO PRESENTS THE MAIN TECHNOLOGICAL REQUIREMENTS FOR CO₂ COMPRESSION PLANTS. ADDITIONALLY, THE PAPER PRESENTS THE MAIN TYPES OF COMPRESSORS AND THEIR AREAS OF APPLICATION, SHOWS THE MAIN MANUFACTURERS OF EQUIPMENT FOR COMPRESSING CO₂ AND THE SUCCESSFUL EXPERIENCE OF PROVIDING THEIR SERVICES IN LARGE PROJECTS FOR THE UTILIZATION OF CARBON DIOXIDE

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: углекислый газ, мировой опыт компримирования CO₂, парниковые газы, особенности сжатия CO₂.

**Ванчугов
Иван Михайлович**
магистрант

**Резанов
Константин Сергеевич**
магистрант

**Автомонов
Павел Юрьевич**
магистрант

**Яицкая
Оксана Витальевна**
магистрант

**Шестаков
Роман Алексеевич**
доцент кафедры
нефтепродуктообеспечения
и газоснабжения, к.т.н.

РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина

Глобальное изменение климата стало проблемой, вызывающей серьезную международную озабоченность. Так, в отчете МГЭИК за 2021 г. показано, что глобальная температура поверхности Земли повысилась примерно на 1,1 °C по сравнению со средней температурой 1850–1900 гг. до уровня, который не наблюдался в последние 125 000 лет [1].

Проблема повышения температуры на поверхности Земли тесно связана с выбросами парниковых газов, таких как двуокись углерода, закись азота и метан, в результате чего общественность активно ищет пути снижения эмиссии выбросов, в частности, благодаря чему за последние три десятилетия был разработан целый комплекс технологий улавливания CO₂. Ключевая роль технологий CCUS (Carbon capture, use and storage) в достижении глобальной углеродной нейтральности постулируется ведущими международными компаниями, которые активно развивают проекты

по улавливанию и утилизации диоксида углерода либо использованию его для повышения нефтеотдачи [2–4].

Несмотря на многолетний опыт утилизации углекислого газа, перед компаниями все еще остро стоят вопросы проработки многих технических аспектов, например, выбор наиболее эффективной технологии улавливания, контроль фазового состава, прогнозирование поведения потока и т.д. Большинство проектов CCUS внедрены на территории США, где развитие началось как раз в конце прошлого столетия, но у большинства других стран опыт проектирования, строительства и эксплуатации объектов CCUS не такой большой. При этом поведение потока с большим содержанием CO₂ при улавливании, подготовке, компримировании, транспортировке и последующей закачке исследовано не в полной мере. Исходя из мирового опыта проектирования объектов транспорта углекислого газа, улавливаемый

поток может содержать различное количество примесей, которые негативно влияют на его поведение и могут привести к осложнениям при транспортировке. Примеси в потоке диоксида углерода оказывают влияние на теплофизические свойства потока, фазовую диаграмму, расстояние рекомпрессии и многое другое, поэтому необходимо учитывать нежелательные компоненты в потоке для обеспечения его стабильности. Как показывает практика, транспорт углекислого газа осуществляется в «плотной фазе», которая эффективна в силу высокой плотности потока (аналогичной жидкой фазе) и низкой вязкости (аналогичной газовой фазе), при давлении выше критического с небольшим эксплуатационным запасом – 8 МПа, что позволяет, как правило, избежать возникновения двухфазных областей. При этом для осуществления компримирования потока до проектного давления необходимы мощные компрессоры с высокой степенью сжатия и доступные при работе с возможным выпадением жидкой фазы [5–7].

Также турбомашин для транспорта диоксида углерода должны удовлетворять многим эксплуатационным требованиям, которые в первую очередь обусловлены типом применения, режимом работы, а также коммерческими и эксплуатационными проектными требованиями. Большинство проектов по улавливанию углерода в основном нацелены на низкие капитальные затраты, широкий рабочий диапазон, долговечную и надежную работу оборудования, что несет за собой большой вызов для инженеров-проектировщиков компрессорного оборудования транспорта углекислого газа.

Основные технологические требования

Основными техническими характеристиками для любого газокomppressorного оборудования являются степень сжатия, количество ступеней компримирования, производительность, мощность, рабочее давления и температуры всасывания и нагнетания. При этом желательно свести количество ступеней в компрессоре к минимуму для снижения капитальных затрат, однако результирующая высокая нагрузка сжатия на ступень

часто приводит к снижению эффективности и ограничению рабочего диапазона. На границе столкновения технической и экономических эффективностей возникают ряд требований, которые остро встают перед производителями, и для оптимального решения требуется соблюдение точного баланса.

Так, основными требованиями к современному газокomppressorному оборудованию являются:

- использование новейших комплектных составляющих;
- высокие показатели топливной эффективности, снижение себестоимости выработки электрической и тепловой энергии;
- соответствие заявленным техническим параметрам;
- широкий диапазон работы при различных производительностях;
- возможность блочной замены основных узлов оборудования;
- высокая надежность и безопасность эксплуатации;
- высокие показатели наработки на отказ;
- монтаж и сдача энергоустановок в сжатые сроки (поставка в собранном виде на раме, использование блоков повышенной готовности);
- снижение капитальных затрат на модернизацию / строительство энергообъектов; снижение стоимости эксплуатации;
- наилучшее сочетание высокой эффективности и небольших массогабаритных характеристик.

Дополнительно для газокomppressorного оборудования компримирования диоксида углерода могут предъявляться следующие требования:

- защита внутренней поверхности оборудования при работе с коррозионно-активной средой;
- высокие давления и температуры потока;
- высокая степень сжатия (длинные линии компримирования);
- наличие промежуточного охлаждения после каждой ступени.

Также поведение углекислого газа при компримировании заметно отличается от природного газа в силу термодинамических особенностей, поэтому возникает ряд характерных для данного потока особенностей, которые

также должны быть учтены при проектировании компрессоров CO₂:

- низкая скорость звука (более высокие ударные потери и уменьшенный рабочий диапазон);
- низкая вязкость при высоком давлении;
- неопределенность термодинамических характеристик (уравнения состояния CO₂ при высоком давлении и температуре);
- высокая плотность;
- термодинамическая зависимость от описания пути сжатия (изоэнтальпическая или изотермическая);
- возможность многофазного поведения потока;
- образование углекислоты в присутствии воды (коррозия);
- растворимость в эластомерных материалах (уплотнения, гибкие воздухопроводы, уплотнения, клапаны);
- образование жидкости/льда при быстром расширении (Джоуля-Томсона).

Типы компрессорного оборудования

К наиболее часто рассматриваемым типам компрессоров, используемых для сжатия диоксида углерода, относят: поршневые, винтовые, многоступенчатые центробежные цилиндрические, центробежные со встроенным редуктором и диафрагменные.

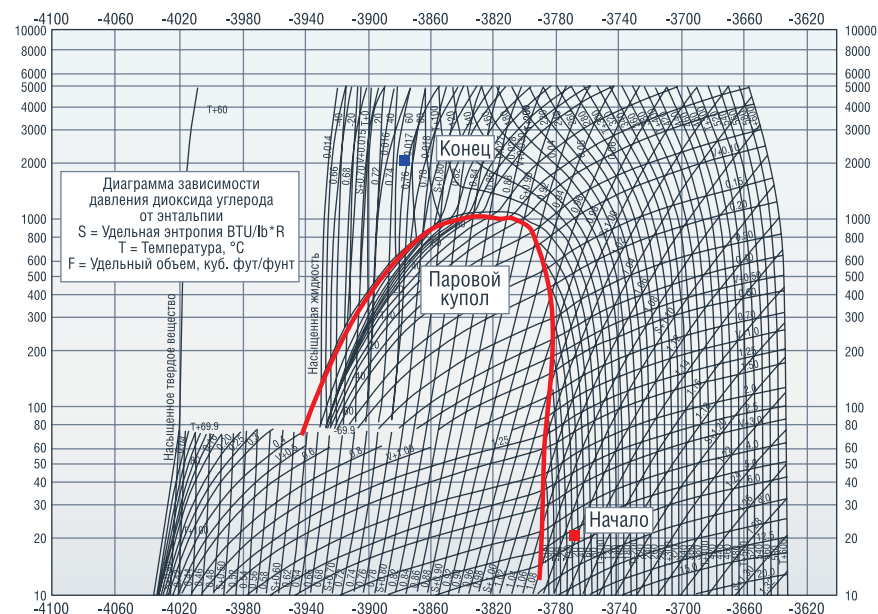
Согласно опыту эксплуатации, поршневые, диафрагменные и винтовые компрессоры сильно ограничены по расходу, поэтому их практически нельзя использовать для крупномасштабных проектов по улавливанию углерода. Что же касается центробежных компрессоров, то, как правило, они не идеальны в случаях, когда технологическая среда либо жидкая, либо находится в плотной фазе [8, 9].

Одной из перспективных технологий для крупномасштабных приложений по сжатию диоксида углерода является гибридная комбинация центробежного компрессора для сжатия газа до уровня, немного превышающего его критическую точку, с последовательно подключенным насосом для плотной фазы и достижения необходимого давления нагнетания.

Как уже говорилось выше, исторический опыт проектирования компрессоров показывает, что

УДК 665.62

РИСУНОК 1. Диаграмма зависимости давления углекислого газа от энтальпии (РН)



из-за неточности моделей описания свойств газа размеры деталей значительно отклонялись. Так, например, удельная теплоемкость, энтальпия и энтропия используются для расчетов производительности ступени и мощности сжатия, определения основных технологических характеристик теплообменного оборудования промежуточного охлаждения.

Отметим, что эффективность сжатия зависит от термодинамического процесса. В зависимости от начальных условий и выбранного термодинамического пути может меняться количество фаз: можно сжать CO_2 в газообразном состоянии на правой стороне, выделенной на рисунке газообразной области, либо охладить диоксид углерода и сжать его в жидком состоянии на левой стороне. Можно также использовать гибридную комбинацию двух вышеуказанных вариантов. Полная энергия, необходимая для процесса сжатия, представляет собой разницу энтальпий, умноженную на массовый расход. При этом изотермический процесс потребует значительно меньше энергии, чем изэнтропийный процесс, поскольку разница энтальпий значительно меньше, что можно увидеть на рисунке 3 [9, 10].

Чтобы максимально приблизиться к изотермическому процессу и максимально снизить потребную мощность сжатия, необходимо промежуточное охлаждение между ступенями сжатия.

Этот подход также называют псевдоизотермическим сжатием. Однако добавление промежуточного охлаждения между ступенями компрессора увеличивает сложность и капитальные затраты, но при этом снижает степень сжатия на одну ступень и нагрузку на нее.

РИСУНОК 2. Процесс компримирования углекислого газа на РН-диаграмме

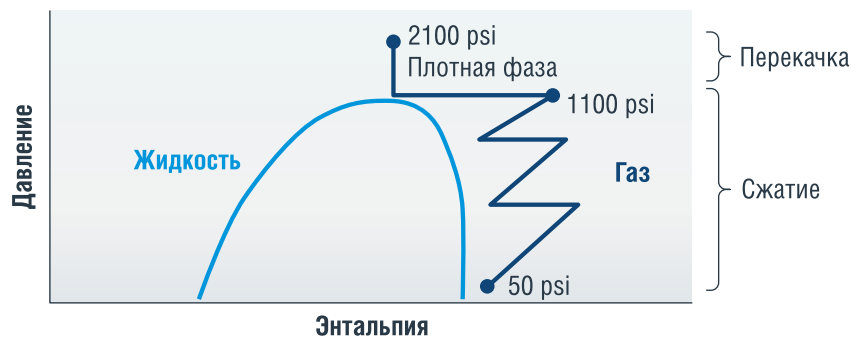
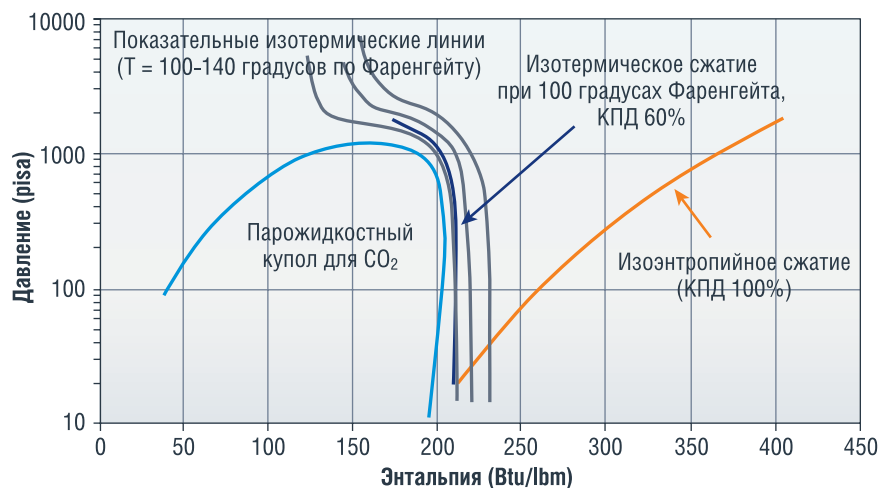


РИСУНОК 3. Изотермический и изэнтропийный процессы сжатия углекислого газа на РН-диаграмме

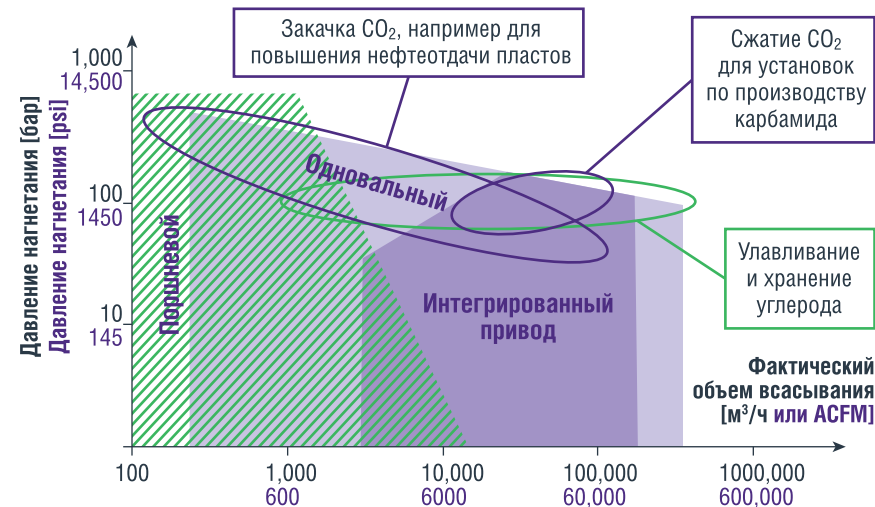


Оно также создает небольшой перепад давления в теплообменнике на каждой ступени промежуточного охлаждения. Как правило, определяют оптимальную точку с минимумом затрат и наибольшей энергетической эффективностью. На рисунке 2 показана фазовая диаграмма со ступенчатым процессом сжатия, на которой можно заметить, что в системах сжатия используется от трех до шести ступеней промежуточного охлаждения. Выше критической точки, когда жидкость является либо жидкой, либо сверхкритической, дополнительное промежуточное охлаждение не требуется, поскольку жидкость ведет себя почти несжимаемой, а теплота сжатия очень мала [9, 11].

Опыт проектирования компрессоров CO_2

Развитие систем утилизации углекислого газа активно продолжается с конца прошлого столетия. За это время в портфелях большинства крупных мировых компаний появились успешно реализованные проекты. При этом параллельно происходило

РИСУНОК 4. Основные типы компрессоров компании Siemens Energy



развитие технологий производства необходимого для транспортировки оборудования. В этой части сильно преуспели такие компании, как Siemens Energy и Mitsubishi Heavy Industries Compressor, которые предоставляли свои услуги по производству и поставкам компрессоров.

Siemens Energy

Компания обладает колоссальным опытом создания различных типов компрессоров. На рисунке 4 представлены основные типы компрессоров: поршневой, центробежный одновальный и с интегрированным приводом, а также области их применения [12].

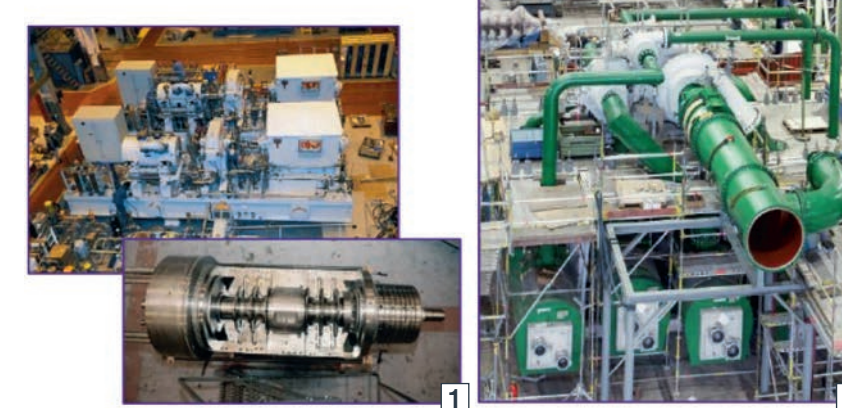
Поршневые компрессоры могут быть выбраны для проектов компримирования диоксида углерода небольшой производительности. Однако из-за низкой скорости звука, высокой плотности CO_2 и резкого изменения объема рабочей среды процесс сжатия создает сильные периодические пульсации, приводящие к высокоамплитудным акустическим резонансам на низких частотах. Эти пульсации могут не только вызывать сильные структурные вибрации, приводящие к выходу из строя трубопровода, но также могут распространяться на сотни километров вдоль по трубопроводу.

Для компрессоров средних размеров Siemens Energy предлагает конструкцию, состоящую из центробежного компрессора и привода на одном валу, охладителя технологического газа и т.д. Компрессоры со встроенным приводом представляют собой многовальные машины. Несколько

валов-шестерен с одним или двумя рабочими колесами на каждом расположены вокруг центральной шестерни. Межступенчатое охлаждение газового потока может производиться после каждого рабочего колеса. Сочетание этих характеристик обеспечивает высокую пропускную способность, выдающуюся энергоэффективность даже при частичной нагрузке при компактной конструкции.

Оценивая успешные проекты компании, хочется в первую очередь выделить поставку четырех центробежных одновальных компрессоров для закачки на двух FPSO Cidade de Sao Paulo и Cidade de Paraty в рамках реализации программы по улавливанию и геологическому хранению CO_2 на месторождениях нефти и газа Pre-Salt на шельфе Бразилии. Добываемая продукция содержит в составе большое количество углекислого газа, в связи с чем было принято решение о разработке программы обратной закачки.

РИСУНОК 5. Внешний вид компрессорных установок: 1) FPSO PreSalt, Бразилия; 2) Ningxia 1, Китай



Первое развертывание состоялось в 2008 году, и к сентябрю 2021 года Petrobras повторно закачала в резервуары в общей сложности 28,1 млн тонн CO_2 .

Другим успешным проектом поставки оборудования Siemens Energy является 6-ступенчатый компрессор с интегрированным приводом и 5 промежуточными охладителями с приводом от конденсационной паровой турбины для проекта установки по переработке синтез-газа в пропилен на угле для компании SNGC в Китае. Компрессор развивает давление 58,1 бар при объемном расходе 83200 $\text{m}^3/\text{ч}$ и мощности 16,9 МВт.

Крупным проектом, введенным в эксплуатацию в 2012 году в США, является улавливание CO_2 с установок парового риформинга метана для получения водорода. Компрессор обеспечивает сжатие диоксида углерода и подачу в трубопровод для дальнейшего транспорта к нефтяным месторождениям и повышения их нефтеотдачи. Компрессор развивает давление 157 бар при объемном расходе 63 500 $\text{m}^3/\text{ч}$ и мощности 13,2 МВт.

Уникальным опытом является проект морского трубопроводного транспорта углекислого газа на месторождение Snohvit. Природный газ, который транспортируется с месторождения на завод СПГ в Hammerfest, содержит от пяти до восьми процентов CO_2 . На береговом заводе CO_2 отделяется от природного газа и направляется обратно, где он хранится на глубине 2600 метров относительно уровня дна. Для компримирования были поставлены два компрессора с развиваемым давлением 62 бар при объемном расходе 52 500 $\text{m}^3/\text{ч}$ и мощности 12 МВт.

РИСУНОК 6. Общий вид компрессорного оборудования CO₂: 1) Snohvit / Hammerfest LNG, Норвегия; 2) Steam Methane Reforming Facility, США

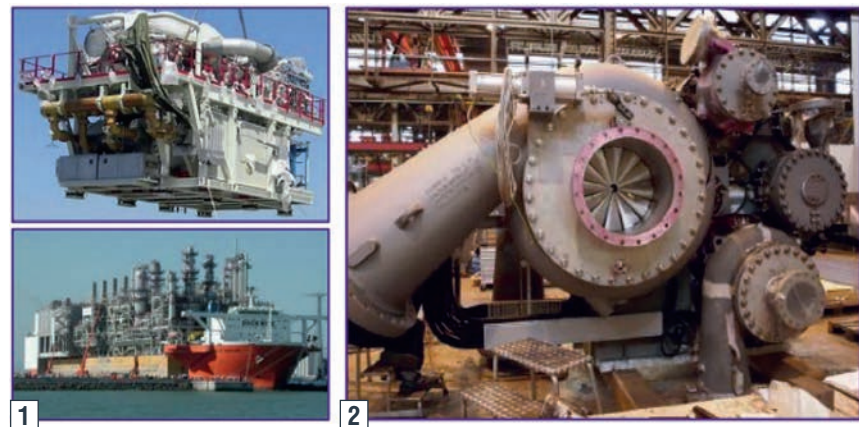


РИСУНОК 7. Основные типы центробежных компрессоров компании Siemens Energy: 1) STC-SV; 2) STC-GV; 3) DATUM

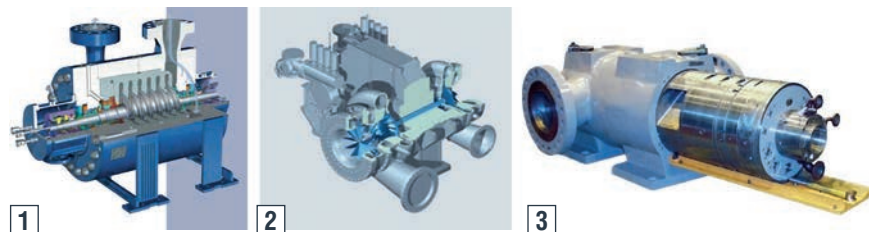
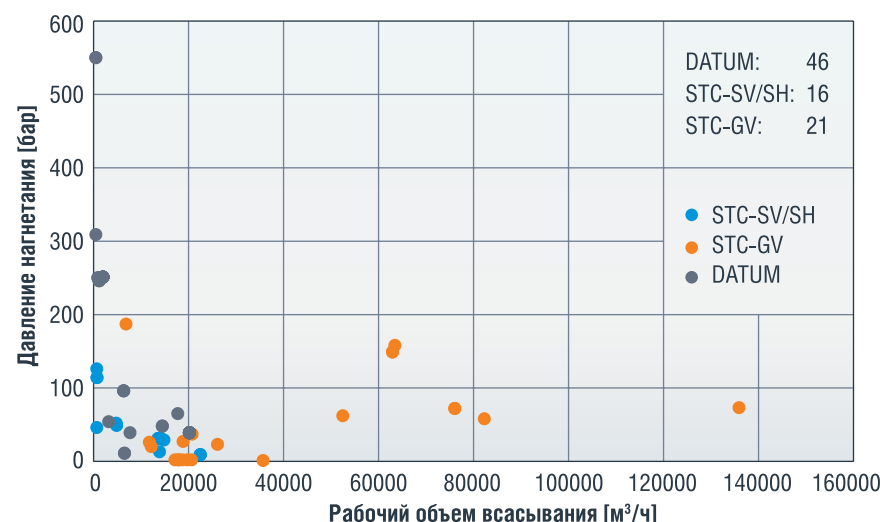


РИСУНОК 8. Бенчмаркинг компрессоров CO₂ компании Siemens Energy



Исходя из опыта проектирования газокomppressorного оборудования CO₂ компанией Siemens Energy, основные типы компрессоров, успешно внедренные в проекты CCUS, – это STC-SV/SH, STC-GV и DATUM, а также их различные модификации. Центробежные компрессоры с интегральным редуктором STC-GV имеют многовальную компоновку с различными скоростями вращения. Одноваловые центробежные компрессоры серии STC-SV с вертикально разъемными

корпусами разработаны в соответствии с требованиями стандарта API 617. Линейка центробежных компрессоров DATUM разработана для обеспечения максимальной производительности в любых условиях применения по давлению и расходу. Непревзойденная эффективность, надежность и простота обслуживания делают их самыми современными турбокомпрессорами, а также наиболее распространенными, что видно из рисунка 8.

Mitsubishi Heavy Industries Compressor

Mitsubishi Heavy Industries также предлагает ряд компрессоров, подходящих для использования в CCUS. Благодаря обширному опыту поставок компрессоров (порядка 4000 единиц) MHI имеет значительный опыт работы с компрессорами CO₂, используемыми во многих проектах улавливания и утилизации диоксида углерода и EOR (увеличение извлечения нефти), что обеспечивает безопасную работу. На рисунке 9 представлена продуктовая линейка компрессорного оборудования CO₂ MHI, состоящая из центробежных компрессоров разных модификаций.

Среди крупных проектов компании по поставке оборудования для компримирования углекислого газа можно выделить NRG WA Parish Power Plant (Thompsons, TX, USA), где в 2015 году реализован проект CCUS с транспортом по 82-мильному трубопроводу для повышения нефтеотдачи 1,4 млн тонн углекислого газа в год. Компания MCO-I была выбрана для поставки высокоэффективного компрессора CO₂ со встроенным приводом, который включал двигатель мощностью 21 МВт.

Еще одним крупным проектом является The In Salah CCS Project (Алжир), введенный в эксплуатацию в 2004 году. Газ с нефтяного месторождения In Salah содержит примерно 5,5% CO₂. За время реализации проекта было успешно закачено 3,8 млн тонн диоксида углерода. Для транспортировки и закачки используется центробежный компрессор типа In-line производства компании MHI.

Выводы

Глобальное изменение климата подталкивает к необходимости урегулирования выбросов парниковых газов, эмиссия которых влечет за собой огромное количество непоправимых последствий, одним из которых является рост температуры на поверхности Земли. В связи с этим крупные нефтегазовые компании ищут пути сокращения выбросов диоксида углерода, тем самым внедряя в свои проекты технологии CCUS.

При этом поведение углекислого газа значительно отличается от поведения природного газа в силу его термодинамических особенностей, одной из которых

РИСУНОК 9. Центробежные компрессоры CO₂ компании Mitsubishi Heavy Industries

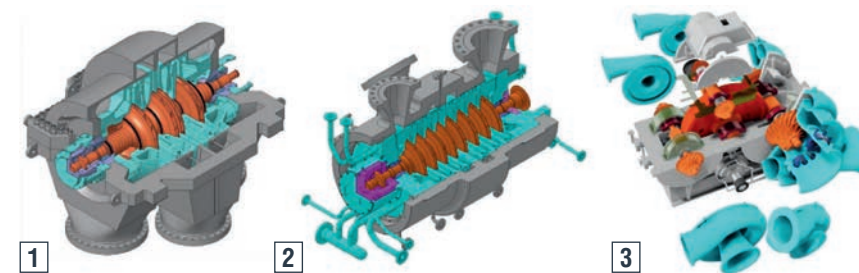


РИСУНОК 10. Проект утилизации диоксида углерода на NRG WA Parish Power Plant (Thompsons, TX, USA): 1) общий вид установок; 2) внешний вид компрессора

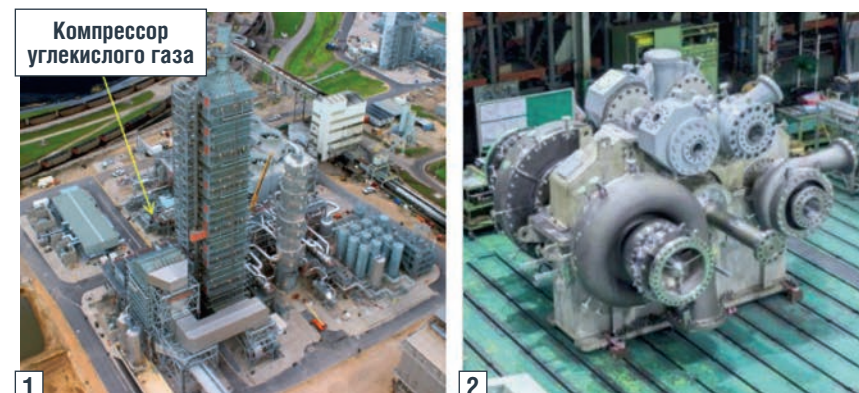
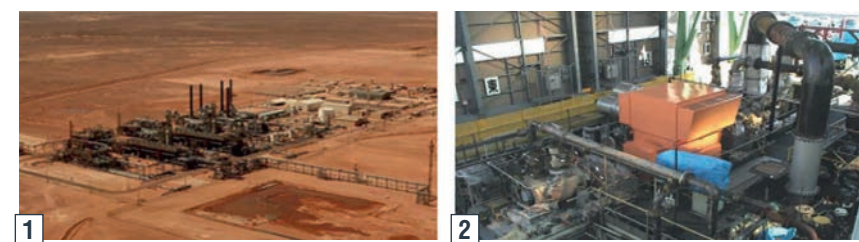


РИСУНОК 11. Проект утилизации диоксида углерода The In Salah CCS Project (Алжир): а) общий вид инфраструктуры; б) внешний блока компримирования



является вероятность фазовых переходов в процессах сжатия для осуществления транспортировки до точек закачки диоксида углерода. С термодинамической точки зрения CO₂ относительно легко сжимается. Это означает, что степень повышения давления на ступень компрессора высока и требуются компрессоры с небольшим числом ступеней или скоростью. Однако из-за высокой степени сжатия на ступень компримирования CO₂ также имеет очень высокую теплоту сжатия, что требует ступенчатого промежуточного охлаждения для поддержания температуры газа на приемлемом уровне, что показано на РН-диаграмме.

При этом благодаря большому опыту нефтегазовых компаний, за последние несколько десятилетий по мере роста числа проектов по утилизации углекислого

газа происходило развитие технологий его транспортировки для учета всех технологических особенностей. В мире наиболее распространены центробежные компрессоры, типы которых могут значительно отличаться – наличием интегрированного привода или одноваловой конфигурацией, разъемами корпуса, количеством ступеней компримирования и т.д. Также могут применяться поршневые, винтовые и диафрагменные компрессоры при небольших производительностях.

Согласно рассмотренному мировому опыту проектов CCUS, в сфере поставок компрессоров CO₂ наиболее преуспели такие компании, как Siemens Energy и Mitsubishi Heavy Industries, которые активно работают над собственными моделями для покрытия всех

потребностей компаний-операторов проектов CCUS. Как показывает опыт эксплуатации, при небольших мощностях транспорта могут использоваться поршневые компрессоры, однако приоритет, за счет более широкого диапазона производительности, отдается центробежным компрессорам одноваловым и многоваловым. ●

Литература

1. Технологии улавливания, хранения и полезного использования диоксида углерода (CCUS) [Электронный ресурс] – Режим доступа: CCUS-Skoltech-2022-11-10.pdf (skoltech.ru) (Дата обращения: 12 августа 2023 года).
2. Ванчугов И.М., Жаркова В.В., Фачжань Сунь, Шестаков Р.А. Перспективы развития индустрии улавливания, использования и хранения углерода в России // Экология и промышленность России, 2023. Т. 27. № 8. С. 42–49.
3. Трухина О.С., Синцов И.А. Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 205–209.
4. Получение СПГ как метода утилизации ПНГ / И.М. Ванчугов, К.С. Резанов, С.М. Ватузов [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2023. – № 2 (134). – С. 70–75.
5. Особенности фазовых переходов углекислого газа при реализации проектов по декарбонизации крупнейших эмитентов Российской Федерации / С.А. Вершинин, Д.А. Голованов, А.Н. Блябляс, Е.А. Хлопотова // Технологии обустройства нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений: Сборник тезисов V научно-технической конференции, Томск, 21–22 сентября 2022 года / Отв. редактор А.Г. Чернов. – Томск: Акционерное общество «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», 2022. – С. 199–201.
6. On the Integration of CO₂ Capture Technologies for an Oil Refinery Fetisov, V., Gonopolsky, A.M., Zemenkova, M.Y., Mohammadi, A.H., Riaz, M. Energiesthis link is disabled. – 2023. – 16(2). – p. 865.
7. К вопросу о транспортировке сжиженного углекислого газа / Р.А. Шестаков, К.С. Резанов, И.М. Ванчугов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 8. – С. 190–209.
8. Nazeri M., Haghighi H., McKay C., Erickson D. and Zha S. Impact of CO₂ Specifications on Design and Operation Challenges of CO₂ Transport and Storage Systems in CCUS // SPE Offshore Europe Conference & Exhibition. – 7–10 September 2021. – p. 18.
9. Brun K. Turbomachinery for Carbon Dioxide Transport and Storage // Offshore Technology Conference, Houston, TX, USA. – May, 2023. – p. 30.
10. Barley J.J. Simulation of Anthropogenic Carbon Dioxide Transportation in Pipelines // PSIG Annual Meeting, San Antonio, Texas, 16–19 May 2023. – p. 27.
11. A. Lucci, G. Demofonti, C.M. Spinelli. CO₂ Anthropogenic Pipeline Transportation // Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conference Maui, Hawaii, USA, June 19–24, 2011. – pp. 243–249.
12. Safe and efficient CO₂ Compressors [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.siemens-energy.com/global/en/offers/industrial-applications/compression/co2-compression.html (Дата обращения: 12 августа 2023 года).
13. CO₂ Compressor [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://solutions.mhi.com/ccus/co2-compressor/ (Дата обращения: 12 августа 2023 года).

KEYWORDS: carbon dioxide, world experience in CO₂ compression, greenhouse gases, features of CO₂ compression.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ

«Трест Коксохиммонтаж» завершил проект по строительству коксовой батареи на предприятии «Северсталь»

СПЕЦИАЛИСТЫ АО «ТРЕСТ КОКСОХИММОНТАЖ» ЗАВЕРШИЛИ СТРОИТЕЛЬСТВО ВТОРОГО БЛОКА КОКСОВОЙ БАТАРЕИ НА ОДНОМ ИЗ КРУПНЕЙШИХ В МИРЕ ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТАЛИ – ЧЕРЕПОВЕЦКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ, ВХОДЯЩЕМ В «СЕВЕРСТАЛЬ». КАКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ БЫЛИ ПРИМЕНЕНЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭТОГО УНИКАЛЬНОГО ПО СЛОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА?

SPECIALISTS FROM TREST KOKSOKHIMMONTAZH JSC COMPLETED THE CONSTRUCTION OF THE SECOND UNIT OF THE COKE OVEN BATTERY AT ONE OF THE WORLD'S LARGEST STEEL PRODUCTION PLANTS – THE CHEREPOVETS METALLURGICAL PLANT, PART OF SEVERSTAL. WHAT TECHNOLOGIES, METHODS AND EQUIPMENT WERE USED IN THE CONSTRUCTION OF THIS UNIQUELY COMPLEX INDUSTRIAL FACILITY?

Ключевые слова: коксовая батарея, производство стали, низкие углеродные выбросы, огнеупорные материалы, строительство промышленных объектов.

Бачурин Алексей

директор дирекции
КХМ-Череповец
АО «Трест Коксохиммонтаж»

Пять лет назад на одном из ключевых дивизионов «Северстали» — Череповецком металлургическом комбинате — началось масштабное строительство новой коксовой батареи № 11. Основным подрядчиком строительства выступил «Трест Коксохиммонтаж».

Согласно проекту, было построено два блока по 56 печей в каждом

и производительностью 1405 тыс. тонн валового кокса в год. Объект представляет собой полный технологический цикл получения кокса: от подготовки угольной шихты до отсева кокса на товарные фракции. В ходе строительства были применены не только уникальные технологии, но и нетривиальные решения, что позволило увеличить экономическую эффективность проекта и сделать процесс производства кокса экологически более чистым.

В чем же заключаются основные особенности?

Современные разработки и эффективные технологии

Прежде всего, следует отметить, что батарея оснащена технологией предварительного трамбования угольной шихты. Суть технологии в том, что шихту загружают в камеру коксования не традиционным способом, засыпая сверху, а при помощи углезагрузочного вагона фронтальной загрузкой при помощи трамбовочной загрузочно-выталкивающей машины (ТЗВМ) в виде утрамбованного брикета. Введение процесса трамбования позволяет значительно сократить

производственные затраты, так как дает возможность использовать в составе шихты малоценные марки угля без снижения качественных характеристик кокса.

Также в процессе строительства коксовой батареи специалисты «Треста Коксохиммонтаж» внедрили ряд современных технических разработок. Одно из таких новшеств — система Sopreso, позволяющая регулировать давление в каждой камере индивидуально, исходя из условий технологического процесса. Система беспылевой выдачи кокса из камеры позволит очистить выбросы от пыли после рукавного фильтра до 10 мг/м³. Конструкция печей позволит коксовой батарее работать практически без неорганизованных выбросов газа. Таким образом, новая коксовая батарея № 11 соответствует уровню самых чистых металлургических предприятий в мире.

«Руководство металлургических комбинатов РФ последовательно внедряет новые технологии, которые существенно повышают экологическую безопасность производств, а также увеличивают экономическую эффективность. Это новая формация руководителей, с которыми мы говорим на одном техническом языке и вместе решаем амбициозные задачи. «Трест Коксохиммонтаж» — отечественная компания, которая обладает в полном объеме уникальной компетенцией по сооружению коксохимических производств исключительно силами российских специалистов. Используемые в России уникальные технологии монтажа позволяют ведущим российским компаниям не только повышать эффективность выполняемых

работ, но и формировать передовые тренды в своих отраслях», — отметил генеральный директор «Треста Коксохиммонтаж» Сергей Фуфаев.

Цифры и факты основных этапов строительства

После установления нижней и верхней плиты фундамента предстояло выполнить огнеупорную кладку для коксовых печей, это стало ключевым моментом на начальном этапе строительства. Особенность кладки заключается в том, что она должна выполняться равномерно по всей длине батареи. От качества огнеупорной кладки в конечном счете будет зависеть эффективность

Суммарный вес всех машин составляет **5000 тонн**, среди которых особенно выделяется ТЗВМ весом **1600 тонн**. На пике строительства было задействовано более **1500 человек**

и продолжительность работы коксовой батареи. В процессе работ, которые выполняли почти сто уникальных высококвалифицированных специалистов-огнеупорщиков со всей территории России и стран СНГ, было задействовано 400 видов огнеупорных материалов общим весом порядка 20 тыс. тонн.

Следующим шагом стал предрасторочный монтаж. На этом этапе специалисты «Треста Коксохиммонтаж» смонтировали анкераж коксовой батареи, временные и постоянные газопроводы, воздушные и дымовые клапаны и кантовочные механизмы с системой гидравлики. Общий вес смонтированного оборудования составил 2915 тонн.

В ходе одного из завершающих этапов — послерасторочного монтажа — был осуществлен монтаж газосборника с газосбросными свечами, стояков и обвязкой оборудования технологическими трубопроводами, сборка и запуск в работу самих коксовых машин, при помощи которых происходит загрузка коксового пирога в камеру и получение готового кокса.

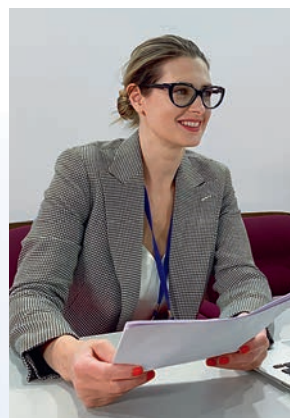
Уникальные операции и нетривиальные решения

Одновременно с завершением строительно-монтажных работ на первом блоке батареи была проведена уникальная операция по передвигке тепляка на второй блок.

Передвигка осуществлялась через угольную башню по путям коксовых машин. Во времена СССР подобные операции «Трест Коксохиммонтаж» проводил неоднократно, но в современной России такого не делал еще никто. Специалисты компании разработали проект, в котором были учтены все возможные риски, произведены расчеты на устойчивость конструкции при перемещении, подобраны механизмы и необходимое оборудование. Преимуществом перемещения перед классическим демонтажом/монтажом стало сокращение времени проведения работ с трех месяцев до трех недель. ●

KEYWORDS: coke oven battery, steel production, low carbon emissions, refractory materials, construction of industrial facilities.

ПРОБЛЕМА ГИБКОСТИ ПОСТАВКИ И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЗАПРЕТОВ в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ



Гаврилина Елена Александровна
доцент кафедры правового регулирования ТЭК
МГИМО МИД России,
к.ю.н.

АВТОР АНАЛИЗИРУЕТ ПОЛОЖЕНИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО КОНТРАКТА КУПЛИ-ПРОДАЖИ СПГ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГИБКОСТЬ ПОСТАВОК, А ТАКЖЕ РАССМАТРИВАЕТ ЗАПРЕТ НА РЕЭКСПОРТ, ОГРАНИЧЕНИЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, МЕХАНИЗМ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРИБЫЛИ, ОГОВОРКУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ МЕСТА НАЗНАЧЕНИЯ, ТРАДИЦИОННО ВКЛЮЧАЕМЫЕ В ДОЛГОСРОЧНЫЕ КОНТРАКТЫ КУПЛИ-ПРОДАЖИ СПГ И ПОЛУЧИВШИЕ ОЦЕНКУ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ ЕС И ЯПОНИИ. ДЕЛАЕТСЯ ВЫВОД, ПРИ КАКИХ УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО КОНТРАКТА КУПЛИ-ПРОДАЖИ СПГ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ЗАПРЕТЫ СЧИТАЮТСЯ КОНТРАКТНЫМИ ПОЛОЖЕНИЯМИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫМИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ РЫНКОВ СПГ

THE AUTHOR ANALYZES THE PROVISIONS OF A LONG-TERM LNG PURCHASE AND SALE CONTRACT THAT AFFECT THE FLEXIBILITY OF SUPPLY, AND ALSO CONSIDERS THE BAN ON RE-EXPORT, RESTRICTIONS ON USE, PROFIT SHARING MECHANISM, THE POSSIBILITY OF CHANGING THE PLACE OF DELIVERY, WHICH ARE TRADITIONALLY INCLUDED IN LONG-TERM LNG PURCHASE AND SALE CONTRACTS, AND WHICH HAVE BEEN APPRECIATED BY EU AND JAPANESE REGULATORS. THE CONCLUSION IS MADE UNDER WHICH CONDITIONS OF A LONG-TERM LNG PURCHASE AND SALE CONTRACT, TERRITORIAL RESTRICTIONS ARE CONSIDERED CONTRACTUAL PROVISIONS INTENDED TO SEPARATE LNG MARKETS

Ключевые слова: сжиженный природный газ, долгосрочный контракт купли-продажи СПГ, территориальные запреты, запрет на реэкспорт, ограничения на использование, механизм разделения прибыли, оговорка об изменении места назначения.

Либерализация рынков СПГ и влияние на контрактную политику

Традиционно продавцы-производители стремились ограничить способность крупных покупателей перепродавать объемы СПГ за пределами их национального рынка. Со своей стороны, импортеры уже давно утверждают, что территориальные ограничения в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ мешают им управлять

портфелями поставок и использовать арбитражные возможности, в связи с чем положения о территориальных ограничениях являются антиконкурентными, предназначенными для разделения рынков.

С другой стороны, долгосрочные контракты купли-продажи СПГ с обязательством «бери или плати», как правило, являются требованием самих инвесторов при финансировании капиталоемких проектов СПГ. Поскольку

инфраструктура отрасли СПГ финансируется за счет заемных средств, инвестиционные решения требуют долгосрочных гарантированных доходов, и гибкость поставки в этом случае порождает непредсказуемость¹.

¹ Shoko Oda. World's Top LNG Buyer Sees Risk of Another Price Spike This Year // Bloomberg. 30.04.2023. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-30/world-s-top-lng-buyer-sees-risk-of-another-price-spike-this-year> (дата обращения: 20.05.2023).

Операции по изменению региона поставки осуществляются покупателем для получения дополнительной прибыли, не говоря уже о том, что фактически покупатель занимает потенциальное место продавца-производителя на рынке². Для продавцов-производителей это нежелательное развитие событий.

Продавец-производитель заинтересован в территориальных запретах и «жестком» пункте назначения, поскольку при их наличии покупатель не конкурирует с ним на других рынках или с другими покупателями продавца-производителя. Продавец может сослаться на то, что изменение региона поставки может нарушать условия финансирования проекта СПГ, увеличить затраты по транспортировке или нарушить график морской транспортировки продавца, хотя такие затраты могут быть компенсированы покупателем.

Изменение региона поставки должно быть предусмотрено долгосрочным контрактом, который может, в свою очередь, включать ограничения по региону поставки, которые требуют, чтобы покупатель принял поставленный СПГ на определенном терминале или только продавал СПГ в определенном географическом регионе.

Ранние контракты, заключаемые на заре становления отрасли представляли собой негибкие соглашения, заключаемые между продавцами-производителями и покупателями на срок, часто превышающий 20 лет в рамках жесткой, преимущественно от «пункта до пункта» торговой модели. Эти контракты предлагали ограниченные возможности для изменения прав и обязанностей сторон в течение срока их действия. Стороны использовали жесткие контрактные положения, поскольку покупатели стремились

к бесперебойному снабжению, а продавцы – к гарантированному сбыту.

Традиционная торговля от «пункта до пункта» с указанием пункта поставки в конце 1990-х годов – начало развития спотового рынка и рынка краткосрочных продаж – подверглась сомнению со стороны инвесторов, ищущих способ извлечь выгоду из возможностей гибкости поставки, которую предоставляет морская перевозка судами-газовозами в целях оперативного реагирования на изменения спроса на рынках СПГ.

Рост краткосрочной торговли и спотовых рынков изменили условия, в которых действуют традиционные долгосрочные контракты купли-продажи СПГ, заключаемые на срок от 10 лет. В связи с возрастающей гибкостью рынка природного газа, которую стал обеспечивать СПГ, спотовая и краткосрочная торговля, значимость долгосрочных контрактов с условием «бери или плати» с точки зрения покупателя изменилась. Долгосрочные контракты и предусмотренные ими механизмы гибкости поставки перестали быть единственными способами обеспечения поставок для национальных участников рынка газа. Вместо этого многие покупатели из ЕС получили доступ к спотовым и краткосрочным рынкам.

Процесс либерализации рынков ЕС сопровождался постепенным введением регулирования, направленного на создание конкурентных условий на рынках природного газа, а затем и СПГ. Право доступа третьих лиц к газопроводам, управление пиковыми нагрузками, ликвидация положений о территориальных ограничениях, запрете на реэкспорт и режимов приоритетного доступа к системе газопроводов –

все это оказало сильное влияние на функционирование рынков природного газа и СПГ и роль долгосрочных контрактов на них. В новом идеологическом контексте, основанном на свободной и эффективной конкуренции, долгосрочные контракты купли-продажи СПГ, так же как и природного газа, заключенные с продавцами-производителями, стали играть гораздо более противоречивую роль: хотя признается, что фактически они способствуют обеспечению надежности поставок, считается также, что при определенных обстоятельствах они могут привести (или способствовать) к ограничению доступа на газовые рынки.

Как результат данной политики, а также на фоне переизбытка предложения, Европейская комиссия заявила, что долгосрочные контракты могут препятствовать свободным потокам газа в Европе, открыв ряд антимонопольных расследований, как в отношении контрактных положений по поставкам трубопроводного газа, так и СПГ. В качестве реакции на то, что отдельные игроки, такие как Россия, могут воспользоваться преимуществом доминирующего положения, политики ЕС поощряют спотовую торговлю, которая может позволить потребителям извлечь выгоду из снижения цен при избытке поставок. Либерализация европейского газового рынка принесла большую выгоду импортерам, в результате чего цены оказались ниже средних по сравнению с традиционными контрактами на поставку нефти из России.

² Ason A. Scenarios for Asian long-term LNG contracts before and after COVID-19 / Oxford Institute for Energy Studies. OIES Paper NG 160. July 2020. P. 21.

Далее рассматриваются особые положения долгосрочных контрактов купли-продажи СПГ: положение о пункте назначения (или запрет на реэкспорт), ограничения на использование, механизмы распределения прибыли, предназначенные для разделения рынков СПГ и природного газа.

Открытие расследования Еврокомиссией

Европейская комиссия с целью усиления конкуренции приступила к изучению положений о территориальных ограничениях и положений, имеющих аналогичный эффект в отношении долгосрочных контрактов купли-продажи трубопроводного газа, в 2000 г., а в отношении поставки СПГ на рынки ЕС – в 2002 г. Были рассмотрены как долгосрочные контракты, заключенные с производителями газа и покупателями из ЕС, так и контракты, заключенные между оптовыми продавцами ЕС и конечными потребителями (контракты на рынке «даунстрим»), и возбуждено несколько дел.

Большинство из этих дел были закрыты после того, как экспортеры обязались исключить территориальные ограничения и сопоставимые с ними положения из контрактов купли-продажи природного газа или СПГ и не включать их в будущее. Так, обязательства были постепенно получены в июле 2002 г. от норвежских «Statoil» и «Norsk Hydro»³, в декабре 2002 г. от нигерийской «NLNG» (в отношении поставок СПГ)⁴, а в 2003 и 2005 годах от итальянской «ENI»⁵, австрийской «OMV»⁶ и немецкой «E.ON Ruhrgas»⁷, касающихся их долгосрочных контрактов на поставку трубопроводного газа с ПАО «Газпром».

Кроме того, в 2004 г. Еврокомиссия дала четкие указания относительно своей правовой оценки положений о территориальных ограничениях, приняв решение по делу в отношении «GDF»⁸. В июле 2007 г. соглашение было достигнуто с правительством Алжира и алжирской национальной

компанией «Sonatrach» об исключении территориальных ограничений и механизмов разделения прибыли из всех существующих и будущих долгосрочных контрактов купли-продажи «Sonatrach» в отношении как трубопроводного газа, так и СПГ⁹.

В 2017 г. Комиссия опубликовала результаты своего анализа рынка СПГ в «Стратегии по СПГ и его хранению» (LNG and Storage Strategy)¹⁰, в которой она признала положения о пунктах конечного назначения как значительное препятствие для торговли СПГ и развития полностью интегрированного энергетического рынка ЕС.

21 июня 2018 г. Комиссия начала расследование, чтобы определить, нарушают ли положения о пунктах конечного назначения (destination clauses), содержащиеся в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ, заключенных «Qatar Energy» (Катар) с европейскими покупателями, антимонопольные правила Европейского союза¹¹.

В дополнение к положениям о пункте назначения Комиссия также выступает за исключение иных антиконкурентных положений, таких как ограничения на использование (use restrictions) или механизмы разделения прибыли (profit-sharing clauses), которые традиционно использовались в долгосрочных контрактах.

Ограничение по региону поставки

В дополнение к пункту поставки (delivery point), долгосрочные контракты купли-продажи СПГ могут содержать оговорку об ограничении региона поставки (destination restriction clauses)¹². Такие положения запрещают покупателю перепродавать СПГ за пределами определенного географического рынка, как правило, за пределами внутреннего рынка покупателя¹³, для которого этот газ предназначен. Помимо положений о пункте назначения, существуют и другие, менее очевидные способы, позволяющие достичь того же результата: ограничения на использование (use restrictions) и механизмы разделения прибыли (profit-splitting mechanisms), о которых будет сказано ниже.

Европейская комиссия считает, что в контрактах купли-продажи трубопроводного газа или СПГ, заключенных продавцами-производителями с европейскими оптовыми покупателями, положения о территориальных ограничениях (territorial restriction clauses), также именуемые положениями о пунктах назначения (destination clauses), противоречат антимонопольному законодательству ЕС, поскольку они способствуют сговору между участниками рынка, подрывают создание общего энергетического рынка, препятствуя европейскому импортеру перепродавать СПГ за пределами установленного географического региона, обычно государства – члена ЕС. Эти положения препятствуют арбитражным продажам.

Ограничивая свободу покупателя перепродавать газ за пределами определенного региона, территориальные ограничения позволяют продавцу-производителю устанавливать в одном и том же регионе для разных покупателей разные уровни цен на один и тот же товар.

Ограничения на использование и механизмы разделения прибыли

Положения об ограничении на использование (usage restrictions) в долгосрочных контрактах купли-продажи СПГ ограничивают возможность покупателя продавать СПГ на иных рынках. Это означает, что проданный СПГ не может быть использован ни для каких других целей, кроме как для тех, для которых он предназначен. Иными словами, он не может быть перепродан (реэкспортирован).

Положения об ограничении на использование применяются в различных формулировках, например: «СПГ, поставляемый [компанией], предназначается для собственных эксплуатационных целей покупателя. Для передачи газа третьим лицам и использования газа в целях, иных, чем эксплуатационные цели покупателя, требуется предварительное согласие [компании]», или «СПГ поставляется только для собственных целей покупателя. Он может быть передан третьим лицам только с письменного согласия [компании]».

Механизм разделения прибыли используется как альтернатива территориальным ограничениям. На практике эффект этих положений эквивалентен. Однако в то время как территориальные ограничения обычно рассматриваются как жесткие ограничения конкуренции, ситуация с механизмами разделения прибыли более сложная и в конечном итоге будет зависеть от базиса поставки.

Механизм разделения прибыли обязывает покупателя разделить определенную часть прибыли с продавцом-производителем, если СПГ перепродается другому потребителю за пределами согласованной территории или потребителю, использующему СПГ на другие цели, чем те, которые были согласованы в контракте. Обычно контракты предусматривают разделение дополнительной прибыли 50/50, однако, как правило, контракт не содержит механизма расчета дополнительной прибыли при изменении региона поставки.

Механизм разделения прибыли позволяет продавцу-производителю контролировать или оказывать влияние на решение покупателя о перепродаже поставленного СПГ.

Для расчета прибыли продавец-производитель должен знать пункт назначения, чтобы рассчитать прибыль, которая должна быть разделена между ним и покупателем. В связи с чем механизм разделения прибыли приводит к обмену конфиденциальной коммерческой информацией, которая может потребоваться сторонам для расчета прибыли, подлежащей разделению.

Еврокомиссия отметила, что механизм разделения прибыли (profit-sharing mechanism), где «покупатель/импортер [должен] разделить определенную часть прибыли с продавцом-производителем, если газ продан импортером потребителю за пределами согласованной территории», используется как альтернатива оговорке о территориальных ограничениях¹⁴ и может ограничить конкуренцию, удерживая покупателей от продажи СПГ за пределами определенного рынка, даже если такие положения контракта прямо не запрещают такие продажи: «Требую от импортера разделить часть прибыли, полученной в результате перенаправления СПГ в более выгодное место назначения, механизм разделения прибыли может иметь антиконкурентное значение, если он устраняет или уменьшает инициативу импортера переадресовывать СПГ на другие рынки»¹⁵.

В 2007 г. Комиссия заявила в соглашении о примирении с «Sonatrach», что механизмы разделения прибыли недопустимы, если СПГ продается на базисе поставки FOB. Комиссия, однако, отметила, что допустимо использовать механизм разделения прибыли, когда контракт предусматривает поставку газа на базисе DES («ex-ship») и «право собственности на газ остается у продавца до тех пор, пока судно не будет выгружено»¹⁶.

Ключевым фактором в разграничении различных типов контрактов, в которых может применяться механизм разделения прибыли, является момент

перехода права собственности и риск. Как только покупатель приобретает право собственности и несет риски за газ, он должен обладать правом поставить газ в другое место назначения, т.е. переадресовать судно-газовоз. Комиссия пришла к выводу, что ограничение этой свободы путем применения механизма разделения прибыли будет равносильно ограничению конкуренции. Данное решение Комиссии следует из ее семилетнего разбирательства с Алжирским правительством и национальной компанией Алжира¹⁷, которое подробно рассматривается ниже.

Соглашение между Еврокомиссией и правительством Алжира о территориальных запретах и положениях, имеющих аналогичное значение

Данное разбирательство является одним из самых знаковых в отрасли СПГ. Именно из данного соглашения можно сделать выводы, как базис поставки влияет на его гибкость.

Переговоры Еврокомиссии с правительством Алжира и алжирской национальной компанией «Sonatrach» заняли семь лет, поскольку признавая необходимость исключить положения о территориальных ограничениях из долгосрочных контрактов, заключенных с европейскими импортерами, «Sonatrach» и Алжирское правительство настаивали на замене таких положений альтернативными механизмами, наиболее заметными из которых были механизмы разделения прибыли, которые обязывают покупателя разделить с продавцом-производителем часть прибыли, полученной от продажи СПГ за пределами согласованного региона поставки.

¹⁴ Commission and Algeria reach agreement on territorial restrictions and alternatives clauses in gas supply contract. European Commission Press release IP/07/1074. 11.07.2007.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Ibid.

Однако Еврокомиссия посчитала, что применение механизма разделения прибыли, предложенного национальной компанией «Sonatrach», вероятно, уменьшило бы или, возможно, даже устранило бы стимул для европейских покупателей перепродавать СПГ в другом географическом регионе, т.е. изменять регион поставки.

Комиссия настаивала на том, что сторонам контракта необходимо самим выработать приемлемые для сторон положения, а Комиссия может лишь высказать свое мнение о совместимости конкретных предложений с законодательством ЕС о конкуренции.

В июле 2007 г. алжирская сторона обязалась исключить территориальные ограничения из существующих контрактов купли-продажи СПГ и не включать такие положения в новые контракты, по которым газ поставляется в Европейский союз. Однако в Соглашении было специально подчеркнуто (по настоянию алжирской стороны), что Соглашение распространяется только на контракты с поставками в ЕС и не распространяется на контракты с поставками в Марокко и Тунис¹⁸.

Общее понимание также было достигнуто в отношении механизмов разделения прибыли. Если механизм разделения прибыли снижает для покупателя потенциальную выгоду от продажи газа за пределами согласованной территории, то в таком случае оговорка о механизме разделения прибыли может рассматриваться как антиконкурентная. Однако в механизме разделения прибыли ключевым фактором, при котором он может применяться, является момент перехода права собственности и риск от продавца-производителя к покупателю. Основное обоснование – как только право собственности и риск переходят к покупателю, механизм разделения прибыли не должен применяться.

Ранее аналогичный вывод был сделан в отношении поставок нигерийского СПГ. Комиссия указала в решении от 2002 г., касающемся урегулирования разбирательства в отношении поставок нигерийского СПГ, что «после того, как газ доставлен

и оплачен, покупатель может свободно перепродавать газ там, где он пожелает»¹⁹.

Традиционно СПГ поставляется на основании трех базисов Инкотермс – FOB, DES/DAT. В рамках общего понимания Алжирское правительство и «Sonatrach» согласились не включать механизмы разделения прибыли в будущие контракты купли-продажи СПГ на условиях FOB, когда СПГ поставляется в ЕС. Напротив, механизмы разделения прибыли могут применяться, когда СПГ поставляется на условиях DES («ex-ship»), поскольку «право собственности на газ остается у продавца-производителя до тех пор, пока судно не будет разгружено»²⁰.

Алжирская сторона обязалась также исключить механизмы разделения прибыли из существующих трубопроводных контрактов и не включать их в будущие трубопроводные контракты, а также в транзитные контракты, когда природный газ проходит через другое государство-член до прибытия в конечный пункт назначения.

Таким образом, Европейская комиссия ясно дала понять, что она рассматривает «оговорки о территориальных ограничениях (запреты на реэкспорт) и механизмы, имеющие аналогичное влияние», в том числе имеющие цель уменьшить возможность покупателя осуществлять арбитражные продажи, в долгосрочных контрактах между производителями, не входящими в ЕС, и европейскими покупателями как «серьезное нарушение» европейского законодательства о конкуренции, поскольку они препятствуют трансграничной торговле и подрывают цель создания единого интегрированного газового рынка в Европе.

Территориальные ограничения обычно не включаются в контракты купли-продажи СПГ, заключаемые с европейскими покупателями, а оговорка об изменении места назначения, предусматривающая механизм разделения прибыли, обычно разрешена только в случае, если право собственности на СПГ остается у продавца-производителя. Модельный договор AIPN использует похожий подход: оговорка об изменении

места назначения применяется только к базису поставки «Seller Delivery Sale» (Продавец осуществляет доставку проданных объемов), а не к «Buyer Delivery Sale» (Покупатель осуществляет доставку проданных объемов).

В 2002 г. Европейской комиссией была достигнута договоренность с национальной компанией Нигерии «Nigeria LNG» об исключении территориальных ограничений из существующих и будущих контрактов купли-продажи СПГ. В качестве условия для достижения соглашения с Комиссией в отношении использования территориальных ограничений «Nigeria LNG Limited» согласилось не включать положения о разделении прибыли в контракты купли-продажи с европейскими покупателями²¹.

Оговорка об изменении места назначения

Оговорка об изменении места назначения предоставляет сторонам долгосрочного контракта купли-продажи СПГ гибкость поставки, возможность получить дополнительную прибыль, продав СПГ по более высокой цене на другом рынке, т.е. возможность участия в арбитражных продажах. Главный вопрос, который здесь возникает, предоставляет ли контракт право изменить регион поставки, и если да, то на каких условиях.

Модельной оговорки об изменении региона поставки на рынке СПГ нет. Существуют различные примеры такой оговорки, содержащиеся в модельных контрактах, но разработанных для краткосрочного и спотового рынка, для которых она не так актуальна. Так, к примеру, Ассоциация международных нефтяных переговорщиков (Association of International Petroleum Negotiators, AIPN) выпустила в 2012 г. обновленную версию Модельного контракта купли-продажи СПГ

(Master LNG Sale and Purchase Agreement), который содержит модельную оговорку об изменении места назначения.

Данная оговорка предусматривает, что покупатель имеет право запросить, чтобы СПГ был переадресован в альтернативный порт назначения, если такая переадресация не нарушает график транспортировки продавца и если стороны смогут прийти к соглашению в отношении механизма разделения прибыли или в отношении других положений о пересмотре цены²². Однако такая простота ее формулировки объясняется тем, что данный контракт разработан для спотовой или краткосрочной торговли и не учитывает риски, возникающие в долгосрочном контракте со сроком его действия от 10 лет, и в котором вопрос пересмотра цены станет главным препятствием при переадресации объемов.

Насколько детально проработаны условия оговорки об изменении места назначения, зависит от конкретного контракта. Тем не менее можно выделить следующие условия или их комбинацию, которые устанавливают определенные ограничения на право изменить регион поставки:

- в отношении конкретных пунктов назначения, в которые могут быть перенаправлены такие партии (контракт может содержать запрет на поставку на определенные рынки);
- количество переадресаций, на которые имеет право сторона в течении срока действия долгосрочного контракта;
- объем СПГ, который покупатель имеет право перенаправить на альтернативные рынки.

Оговорка может предусмотреть определенные обстоятельства, при наступлении которых покупатель имеет право запросить переадресацию, с которой продавец обязан будет согласиться или предоставляет право обеим сторонам запросить изменение региона поставки, которую стороны должны будут обсуждать добросовестно.

Контракт может содержать положение о том, что покупатель имеет право запросить изменения региона поставки, если это не приведет к увеличению транспортных расходов или

не помешает судну продавца-производителя вернуться в порт погрузки в установленное время для осуществления следующей запланированной поставки²³.

Если покупатель решит запросить изменения региона поставки, то он должен уведомить продавца об альтернативном пункте поставки и других оперативных деталях, касающихся изменения региона поставки в установленный контрактом срок.

Модельная оговорка может предусмотреть ограничения права продавца в возможности отказа в изменении места назначения или предоставить возможность задерживать согласие на изменение места назначения. С этой целью в оговорку могут быть включены положения о том, что отказ должен основываться на «технических трудностях» или существующих обязательствах продавца перед третьими лицами. Так, к примеру, контракт может предусмотреть, что продавец должен одобрить переадресацию в случае, если покупатель гарантирует следующее:

- совместимость судна-газовоза с альтернативным терминалом СПГ;
- спецификация СПГ соответствует требованиям альтернативного терминала СПГ;
- изменение региона поставки не приведет к нарушению обязательств продавца, которые у него были до получения уведомления о переадресации СПГ;
- у продавца есть все необходимые разрешения для такой переадресации;
- изменение региона поставки не приведет к нарушению продавцом каких-либо законов или санкций.

Кроме того, оговорка может содержать дополнительное обязательство продавца представить обоснование для любого отказа, а также право покупателя назначить независимого эксперта для проверки основания отказа.

В результате изменения региона поставки покупатель получает дополнительную прибыль, что является целью переадресации судна-газовоза. Условия разделения такой прибыли различны:

- стороны могут иметь согласованный механизм разделения прибыли в случае изменения региона поставки;
- стороны обязаны будут согласовывать цену на СПГ или механизм разделения прибыли при каждом случае изменения места назначения;
- если контракт содержит определенные пункты доставки, в которые разрешена переадресация СПГ, то стороны могут предусмотреть, что для таких регионов поставки цена на СПГ или формула ее расчета будет отличной от цены, предназначенной для рынка первоначального пункта доставки. При этом контракт также может предусматривать, что цена на СПГ может быть пересмотрена сторонами в случае изменений на рынке, на который был перенаправлен СПГ²⁴.

Помимо механизма разделения прибыли, стороны должны предусмотреть механизм компенсации при изменении региона поставки, который должен компенсировать продавцу все фактические документально подтвержденные расходы, связанные с транспортировкой судна-газовоза. Хотя механизм разделения прибыли должен отражать дополнительные расходы и риски, понесенные продавцом и покупателем в результате изменения региона поставки, в некоторых случаях оценка риска, согласование цены и механизма разделения прибыли занимает время, поэтому может значительно снизить вероятность изменения места назначения.

Антимонопольная комиссия Японии отмечает, что разделение прибыли с самого начала должно быть ясным, что может быть достигнуто путем определения метода расчета и/или процента доли прибыли от перепродажи в контракте купли-продажи СПГ²⁵. В свою очередь, Европейская комиссия указала, что при изменении

²² AIPN Model LNG SPA, Clause C17.

²³ Ibid.

²⁴ Bell C. United States: what happens when your gas contract price is linked to one market but you are delivering into another? // International Energy Law Review. 2009. № 10. P. 10–11.

²⁵ Survey on LNG Trades / Japan Fair Trade Commission. June 2017. P. 8.

региона поставки разделение прибыли допустимо только в тех случаях, когда СПГ поставляется на условиях DES, когда продавец сохраняет право собственности на СПГ и несет расходы и риски при поставке СПГ в иное место назначения²⁶.

Резкспорт СПГ

Импортные СПГ-терминалы могут использоваться не только для выгрузки СПГ, но также для его загрузки на суда-газовозы в целях поставки на другие рынки, т.е. для резэкспорта. Операции по резэкспорту СПГ осуществляются после перехода права собственности на СПГ к покупателю, который может или перегрузить СПГ с одного судна-газовоза на другое, или отправить СПГ на хранение для последующей загрузки на СПГ-газовозы.

Резкспорт СПГ, так же, как и изменение региона поставки, преследует одну и ту же цель – он позволяет покупателю продавать СПГ на тех рынках, где цена на газ выше, управлять портфелем поставок, снижает для покупателя риск по обязательству «бери или плати». Причинами резэкспорта могут стать установленные контрактом купли-продажи СПГ ограничения на изменение региона поставки (территориальные ограничения) или отказ продавца перенаправить СПГ на другие рынки.

Однако хотя резкспорт СПГ может позволить покупателю участвовать в ценовом арбитраже, тем не менее он обычно менее прибылен, чем изменение региона поставки. В отличие от изменения региона поставки, при резэкспорте СПГ транспортируется дважды, что приводит к дополнительным транспортным расходам, затратам на хранение, выгрузку и погрузку. Из-за этих дополнительных затрат «для инициирования резэкспорта СПГ требуется премия, значительно превышающая затраты на транспортировку»²⁷.

Резкспорт СПГ может стать причиной споров между продавцом-производителем и покупателем. В том случае, когда контракт купли-продажи СПГ устанавливает территориальные ограничения (содержит запрет на изменение региона поставки) или продавец отказывается перенаправлять

СПГ, продавец может утверждать, что резкспорт СПГ несовместим с ожиданиями сторон от сделки и является обычной попыткой покупателя уклониться от территориальных ограничений, установленных контрактом.

Существует позиция, что покупатель, который получает выгоду благодаря арбитражным продажам посредством резэкспорта СПГ, потенциально может быть признан нарушившим контракт в том случае, если будет доказано, что резкспорт является его стратегическим систематическим поведением, которое направлено на уклонение от контрактных обязательств и наносит ущерб праву продавца-производителя на получение выгоды: «Многое будет зависеть от положений самого контракта, однако существует риск, что покупатель будет признан нарушившим обязанность добросовестного и справедливого ведения дел по контракту»²⁸.

С другой стороны, также можно утверждать, что при резэкспорте основания для разделения прибыли у сторон первоначального контракта купли-продажи СПГ нет, поскольку «как только право собственности и риск переходят к покупателю, механизм разделения прибыли не должен применяться»²⁹. Данное решение Комиссии ЕС касается только поставок в ЕС, хотя Антимонопольная комиссия Японии приняла аналогичное решение, однако оно носит рекомендательный характер³⁰.

Выводы

В долгосрочных контрактах с базисом поставки FOB право собственности и риск на СПГ переходят к покупателю на терминале по сжижению. В связи с чем положения о пунктах конечного назначения, положения об изменении места назначения и механизмы разделения прибыли в таких контрактах или в контрактах, где изменение места поставки происходит только после перехода права собственности и риска к покупателю, могут иметь негативные последствия для конкуренции и, скорее всего, нарушают антимонопольные законодательства ЕС.

В контрактах купли-продажи СПГ с базисом поставки DES в любом случае потребуется указать пункт

поставки. Однако может возникнуть необходимость в его изменении. В связи с чем, в соответствии с контрактом на условиях DES, согласие продавца на изменение региона поставки необходимо до тех пор, пока продавец сохраняет за собой право собственности и риск на СПГ вплоть до указанного в контракте терминала по регазификации.

Антимонопольное законодательство ЕС не препятствует использованию положения об изменении региона поставки в контрактах с базисом поставки DES. В тех случаях, когда СПГ все еще принадлежит продавцу-производителю, подход антимонопольного законодательства ЕС заключается в том, что территориальные ограничения не ограничивают перепродажу СПГ. Кроме того, антимонопольное законодательство ЕС будет рассматривать в таком контракте изменение региона поставки как новое соглашение. ●

Литература

1. Гаврилина Е.А. Система контрактов на мировых рынках СПГ: от месторождений до спотового рынка // М.: МГИМО-Университет. – 2023.
2. Agosti L. LNG Disputes Beyond Price Reviews / L. Agosti, B. Moselle // Oil, Gas and Energy Law. – 2020.
3. Atkin J. Destination Flexibility in LNG Sales Contracts / J. Atkin // Oil, Gas and Energy Law. – 2020.
4. Finizio S. Trends in LNG Supply Contracts and Pricing Disputes in the Asia Pacific Region / S. Finizio, J. Trenor, J. Tan // Oil, Gas and Energy Law. – 2020.

KEYWORDS: *liquefied natural gas, long-term LNG purchase and sale contract, territorial prohibitions, ban on re-export, restrictions on use, profit sharing mechanism, reservation on change of destination.*

²⁶ Commission and Algeria reach agreement on territorial restrictions and alternative clauses in gas supply contracts. European Commission Press Release IP/07/1074. 11.07.2007.

²⁷ Will European LNG reloads continue? // Timera Energy. 26.08.2013. P. 4.

²⁸ Secondary Markets for LNG Exports: Legal implications of 'reloads' for LNG Sales Agreements // HWL Ebsworth. 27.02.2014.

²⁹ Commission and Algeria reach agreement on territorial restrictions and alternative clauses in gas supply contracts. European Commission Press release IP/07/1074. 11.07.2007; Commission settles investigation into territorial sales restrictions with Nigerian gas company NLNG. European Commission Press release IP/02/1869. 12.12.2002.

³⁰ Survey on LNG Trades / The Japan Fair Trade Commission. Chapter 4 of Fair Competition in LNG Trades. 2017. P. 32.

Подписка на Деловой журнал Neftegaz.RU

Вы можете искать статьи и материалы по определенным темам и рубрикам, читать экспертные мнения, обсуждать и добавлять в закладки интересное, формируя личную библиотеку интересов



Стоимость подписки

	1 номер	Год
Количество номеров	1	12
Электронная версия	4500 ₽	45 000 ₽
Печатная версия	4500 ₽	45 000 ₽

Подписаться на журнал можно:

Отдел подписки
журнала Neftegaz.RU

+7 (495) 778-41-01
subs@neftgaz.ru

Быстрая подписка на издания и его форматы через личный кабинет (печатная версия | электронная версия [PDF] | онлайн-версия)

Подписной индекс
Урал Пресс 013265

Для корпоративных клиентов — индивидуальные условия!

МЫ ДЕЛАЕМ ВСЁ ДЛЯ
УДОБСТВА НАШЕЙ
АУДИТОРИИ!

ТЕПЛООБМЕННИКИ ДЛЯ СПГ-ПРОИЗВОДСТВ как важный фактор оптимизации энергоэффективности

**Зайцева
Елизавета Алексеевна**

кафедра газохимии,
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина,
студент

**Козлов
Андрей Михайлович**

кафедра газохимии,
РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина,
доцент, к.т.н.

В СТАТЬЕ СРАВНИВАЮТСЯ ДВА НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В ИНДУСТРИИ СПГ ТИПА ТЕПЛООБМЕННИКОВ. АНАЛИЗИРУЮТСЯ ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ. ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ ВЫПУСКА СПИРАЛЬНОВИТЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ РОССИЙСКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

THE ARTICLE COMPARES THE TWO MOST COMMON TYPES OF HEAT EXCHANGERS IN THE LNG INDUSTRY, ANALYZING THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES. AN ANALYSIS OF THE PRODUCTION OF SPIRAL AND PLATE HEAT EXCHANGERS BY RUSSIAN ENTERPRISES WAS CARRIED OUT

Ключевые слова: теплообмен, спиральновитой теплообменный аппарат, пластинчатый теплообменный аппарат.

При принятии решения о выборе определенной технологии для СПГ-завода в настоящее время анализируется круг проблем от количества и мощности предприятий, уже работающих по предлагаемой технологии, до возможности максимального выпуска оборудования в стране или на предприятиях заказчика, при этом к наиболее важному оборудованию традиционно относят теплообменное [1].

В настоящее время для сжижения газа в качестве низкотемпературных теплообменных аппаратов наибольшее распространение получили пластинчатые и спиральновитые, при этом к особенностям обоих относят

невысокую потерю напора, возможность устойчивой работы при давлениях свыше 60 атм до температур кипения азота при атмосферном давлении, возможность изготовления единичного изделия с большой площадью теплообмена, устойчивость работы с достаточным коэффициентом теплопередачи даже при относительно низких среднетемпературных разностях температур потоков.

Тем не менее до настоящего момента в некоторых случаях рассматриваются и классические кожухотрубчатые теплообменники. Например, такие теплообменники используются на возрастных предприятиях, работающих

по каскадному циклу (г. Арзев, Алжир), где низкие коэффициенты теплообмена компенсируются кипением хладагентов. К преимуществам прямотрубных аппаратов относят простоту изготовления и эксплуатации, однако недостатки их также известны: большая металлоемкость, достигающая до 50–60 кг на м² теплообмена, и малая компактность, в м³ аппарата может поместиться не более 250 м² поверхности теплообмена [2].

Развитие машиностроения во второй половине XX века, распространение смешанных холодильных агентов и повышение единичной мощности СПГ-производств сделало возможным массовое

применение менее металлоемких спиральновитых (рисунок 1) и пластинчатых (рисунок 2) теплообменников.

Каждый из этих теплообменников характеризуют как преимущества, так и недостатки. Например, невзирая на относительно низкую стоимость пластинчатых аппаратов, на конечную цену оказывает влияние значительная сложность монтажных работ из-за большого числа стыков и сложности их подгона и соединения. Спиральновитые же теплообменники из-за возможности «игры» труб устойчивы к тепловым напряжениям, которые обусловлены процессами захлаживания во время пусков. Следует отметить, что каждый тип теплообменника имеет определенные достоинства и недостатки исходя из условий их применения.

Спиральновитые теплообменники

К характерным отличиям спиральновитых аппаратов относят компоновку поверхности теплообмена из ряда специальным образом закрепленных в головках концентрических змеевиков, заключенных в корпус аппарата, при этом потоки движутся по трубному и межтрубному пространствам. Учитывая, что витые теплообменники могут компенсировать большие разности температур из-за отсутствия жестких креплений труб внутри корпусов, они распространены на СПГ-заводах, при этом чаще всего можно встретить соответствующее оборудование Linde и Air Products, в которых пучки алюминиевых труб (реже используются медные или нержавеющие) диаметром до 16 мм навиваются на полый сердечник. Между слоями таких труб параллельно сердечнику устанавливаются регулирующие прокладки, обеспечивающие

площадь и форму проходного сечения для межтрубного пространства, а для равномерного распределения двухфазного потока хладагента по сечению межтрубного пространства устанавливают специальные распределительные устройства. После изготовления пучка его традиционным образом помещают в обечайку. Следовательно, теплообменники со спиральными трубами состоят из одного и более пучков спиральных труб с герметичным чаще всего алюминиевым кожухом. При этом пучки состоят из уложенных в несколько слоев алюминиевых труб небольшого диаметра, а соседние слои закручены в противоположные стороны и каждый слой отделен вертикальными разделителями [4].

По опыту применения спиральновитые теплообменники признаны более надежными, чем пластинчатые теплообменники, так как они в состоянии выдерживать больший диапазон колебаний давления и меньше подвержены засорению из-за высоких скоростей потоков, также в случае утечки поврежденные трубы могут быть заглушены без полноценного ремонта теплообменника.

При сравнении спиральновитых теплообменников к особенностям их относят:

- компактность – до 500 м²/м³;
- вес – для аппаратов с алюминиевыми трубами составляет 8...12 кг/м², а для аппаратов с медными или стальными трубами – 14...25 кг/м²;
- возможность охлаждения нескольких потоков в одном аппарате;
- возможности создания аппаратов с большой поверхностью теплообмена;
- примерная стоимость витых теплообменников в зависимости от размеров и назначения аппаратов составляет 45–60 \$/м² [5].

Фирмами Technip и Air Products накоплен опыт изготовления аппаратов с теплообменной поверхностью до 15 000 м², при этом заявляется возможность изготовления оборудования с единичной поверхностью до 30 000 м².

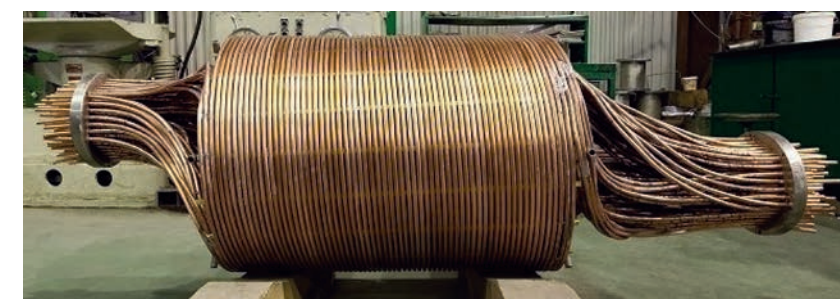
Пластинчатые теплообменники

Изготавливаются из алюминия, меди или нержавеющей стали по специальному проекту или типовым изделием, где количество набираемых пластин зависит от площади теплообмена. Такой аппарат состоит из гофрированных пластин (ребер), которые разделяются специальными проставками и скрепляются боковыми элементами, гофрированные пластины складываются и спаиваются в вакуумной печи либо скрепляются втулками, для достижения необходимых показателей могут использоваться как один аппарат, так и соединенные последовательно или параллельно несколько. Для снижения теплотеря теплообменники, коллекторы и соединительные трубопроводы теплоизолируются в зависимости от уровня холода. Лидерами в изготовлении таких теплообменников считаются Chart Industries, Linde, Kobe, Sumitomo и Norden Cryogenie.

В отличие от теплообменников со спиральными трубами, в которых один поток может проходить в межтрубном пространстве, пластинчатые теплообменники позволяют работать с несколькими потоками различных температур и давлений. Следует отметить, что чаще всего площадь, занимаемая крупными пластинчатыми теплообменниками, превышает площадь спиральновитых, особенно в случае крупных производств, однако эта площадь может быть несколько уменьшена за счет размещения нескольких теплоизоляционных камер по высоте [5].

Пластинчатые теплообменники состоят из нескольких основных составных частей (рисунок 2). Основой такого теплообменника является многослойный пакет (матрица) из плоских проставочных листов, плакированных с двух сторон припоем, гофрированных ребристых насадок и ограничивающих брусков.

РИСУНОК 1. Спиральновитой теплообменник [3]



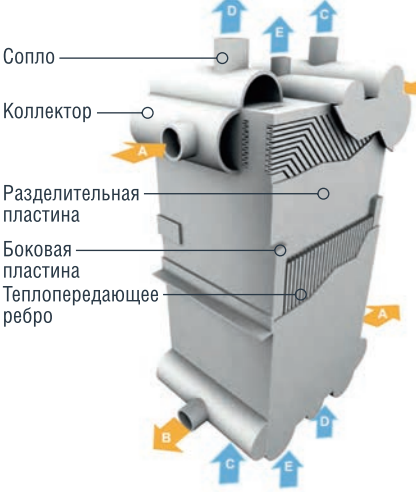
Соединение проставочных листов с насадкой и брусками в единый герметичный монолитный пакет осуществляется бесфлюсовой пайкой в вакуумных печах, при этом изготовление отличает одновременное изготовление множества каналов теплоносителей в одном пакете за время одной автоматической пайки, во время которой твердым припоем пропаяваются многие метры швов. Используя насадки различной оптимальных для каждого конкретного случая геометрической формы и размеров, можно создавать конструкции для самых различных применений, при этом возможна организация прямотока, противотока или перекрестного тока. В таблице 1 приведено сравнение пластинчатых и спиральновитых теплообменников.

Как видно из рисунка 2, в пластинчатых теплообменниках возможно одновременно в одном блоке проводить теплообмен между четырьмя и более теплоносителями, что достигается соответствующей конструкцией коллекторов, что нашло применение при оптимизации энергопотребления на средне- и крупнотоннажных СПГ-заводах, когда приходится решать задачи по регулировке температурных напоров потоков.

При сравнении пластинчатых теплообменников к особенностям их относят [7]:

- компактность — около 2 000 м² поверхности теплообмена на 1 м³

РИСУНОК 2. Пластинчатый теплообменник [6]



объема теплообменника, что значительно выше всех остальных типов теплообменников;

- возможность комплектации пластинами с различным оребрением и расстоянием между пластинами в одном аппарате, что позволяет регулировать сопротивление при прохождении потоков через теплообменник в зависимости от расхода теплоносителей и их давления;
- масса и теплоемкость пластинчатых теплообменников намного меньше, чем остальных типов теплообменников такой же поверхности, в связи с тем, что основная часть поверхности выполняется из тонких металлических листов;

- стоимость 1 м³ криогенного теплообменника составляет порядка 45 000 евро.

При рассмотрении возможности изготовления криогенных теплообменников российскими предприятиями следует отметить, например, «НПО Гелиймаш» и «Криогенмаш», на которых с советских времен освоено изготовление криогенных теплообменников из медных, алюминиевых, нержавеющей труб, отличающихся надежностью, компактностью, малой массой, высокой тепловой эффективностью, однако сложности возникают при изготовлении теплообменного оборудования начиная со среднетоннажных СПГ-заводов, также не всегда конкурентоспособна и стоимость изделий [8, 9].

Таким образом, выбор и последующая эксплуатация криогенных теплообменников — важная задача проектировочных и эксплуатирующих организаций, правильные решения которых значительно улучшают надежность и бесперебойную работу криогенных блоков предприятий. ●

Литература

1. Жагфаров Ф.Г., Карпов А.Б., Григорьева Н.А. Инновационные технологии при подготовке природного газа в проектах производства сжиженного природного газа // Технологии нефти и газа. — 2017. — № 6 (113). — С. 14–18.

2. Иванов В.Л., Леонтьев А.И., Манушин Э.А., Осипов М.И. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 591 с.

3. Теплообменные аппараты [Электронный ресурс]. — URL: <http://geliymash.ru/production/teploobmennyye-apparaty> (дата обращения: 19.04.2023).

4. Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Мещерин И.В. Российские производства по сжижению природного газа // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2019. — № 10 (94). — С. 68–80.

5. Бакланова В.Г., Шевин Ю.А. Теплообменные аппараты низкотемпературных установок и систем термостатирования: учеб. пособие. Ч. 1. Аппараты трубчатого и пластинчатого-ребристого типов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 64 с.

6. Теплообменные аппараты [Электронный ресурс]. — URL: <http://files.chartindustries.com/BrazedAluminumHeatExchangers-russian.pdf> (дата обращения: 20.04.2023).

7. Александров А.А., Архаров А.М., Архаров И.А. Теплотехника: учебник для вузов. 6-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 876 с.

8. Карпов А.Б., Мещерин И.В., Козлов А.М., Бутырская К.Г. СПГ в России. Путь производственных мощностей // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2020. — № 4 (111). — С. 175–185.

9. Карпов А.Б., Козлов А.М., Кондратенко А.Д. Технология получения малотоннажного СПГ с двумя контурами охлаждения // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2018. — № 2 (74). — С. 50–54.

KEYWORDS: *heat exchange, spiral heat exchanger, plate heat exchanger.*



ГЕРМАНИЯ ПО-ПРЕЖНЕМУ ТОРГУЕТ РОССИЙСКИМ ГАЗОМ – ОТМЕНА СДЕЛКИ ОБОЙДЕТСЯ В 10 МЛРД ЕВРО Bloomberg

Германия по-прежнему торгует российским СПГ, поскольку расторжение контракта обойдется немцам налогоплательщикам как минимум в 10 млрд евро. Эта дилемма Берлина сулит дальнейшую выгоду Москве. Компания SEFE (бывшее подразделение «Газпрома») поставляет российский СПГ по старому контракту, заключенному до национализации в прошлом году. Грузы не подпадают под международные санкции и направляются в Индию. Однако эта торговля стала головной болью для Германии, которая во всеуслышание отказалась от российского газа.



Из-за того, что государственная компания сохраняет связи с Москвой, вопреки политической риторике, на Берлин обрушилась резкая критика. У SEFE есть 20-летний контракт на поставку

СПГ с завода на Ямале, по условиям которого компания обязана платить за российский СПГ, независимо от того, является ли она конечным потребителем или нет. Даже если продавец не отгрузит топливо в Германию, Россия сможет продать его в другом месте и получить деньги дважды — от продажи и от штрафов, если будет установлено, что SEFE нарушила контракт. Сложилась противоречивая ситуация: с одной стороны, немецкая госкомпания покупает и продает российский газ, с другой — чиновники призывают к ужесточению санкций против России.

ПЛОХОЙ СОСЕД ДЕЛАЕТ ВАС СОСТОЯТЕЛЬНЫМ ЧЕЛОВЕКОМ YeniŞafak

США и ЕС хотели изолировать Россию на международной арене, но в результате их ожидания не оправдались. Санкции не ударили по Москве, а открыли ей «старые-новые» возможности на постсоветском пространстве. Россия сосредоточилась на собственной экономике и не увидела ожидавшегося серьезного спада, несмотря на жесткие 11 пакетов санкций. С другой стороны, Россия не желает отдавать свою зону влияния Америке или европейским странам и предпринимает важную инициативу: развивает отношения со странами СНГ, сопротивляется попыткам Запада выгнать ее с Южного Кавказа, желает сохранить свое былое влияние в Центральной Азии. Москва нашла других

покупателей для своей нефти и многое стала производить сама. Российская экономика, несмотря на введенные ограничения, оказалась более устойчивой, чем ожидали многие западные правительства. Россия, для которой Запад закрыл свои двери, сосредоточилась на постсоветском пространстве.

В ЕВРОПЕ РАСТЕТ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РОССИЙСКОГО И АМЕРИКАНСКОГО СПГ laCROIX

Импорт российского СПГ в Европу продолжает расти, как и импорт американского сланцевого газа в виде СПГ. Если все пойдет хорошо, во Франции не будет недостатка в топливе этой зимой. Однако запасы прочности остаются низкими.



Необходимо продолжать соблюдать ряд условий. Во-первых, тщательное управление хранилищами, во-вторых, экономия. Еще один важный момент: закупки СПГ должны оставаться устойчивыми, именно это позволило Евросоюзу за два года сократить импорт российского трубопроводного газа на 75%. Подчеркивается важность инфраструктуры для СПГ. В 2022 году пропускная способность увеличилась на 22% за счет девяти дополнительных терминалов.

Тема поставок российского СПГ крайне чувствительна, ведь речь идет о получении денег российским бюджетом. На европейском уровне закупки российского СПГ растут, но некоторые государства уже взяли на себя обязательство ограничить их. Диверсификация газовых потоков ведет к переходу от российской зависимости к зависимости от других поставщиков, надежность которых не может быть гарантирована постоянно. ●

ПЕРВЫЙ СРЕДИ РАВНЫХ:

почему СПГ необходим российской Арктике

Сарафаников Павел Викторович
президент, председатель правления
Национальной ассоциации СПГ



РАЗВИТИЕ МАКРОРЕГИОНА – АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ – СЕГОДНЯ НЕВОЗМОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ БЕЗ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ, КОТОРЫЕ СМОГУТ ОБЕСПЕЧИТЬ УСТОЙЧИВОЕ И НАДЕЖНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЭТОЙ ТЕРРИТОРИИ НА ДОЛГИЕ ГОДЫ. РОЛЬ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В РЕШЕНИИ ТАКОЙ ЗАДАЧИ МОЖЕТ ОКАЗАТЬСЯ РЕШАЮЩЕЙ, ХОТЯ ПОРОЙ ЗНАЧЕНИЕ СПГ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ НЕДООЦЕНИВАЮТ, ОТОДВИГАЯ ЭТОТ ВИД ТОПЛИВА НА ВТОРОЙ ПЛАН. АВТОР СТАТЬИ РАССКАЗЫВАЕТ О ПЛЮСАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПГ В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ И СИНЕРГИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ ОТ ПРИНЯТИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ, СВЯЗАННЫХ СО СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

THE DEVELOPMENT OF THE THE ARCTIC ZONE MACROREGION OF THE RUSSIAN FEDERATION TODAY CANNOT BE IMAGINED WITHOUT THE DEVELOPMENT OF ENERGY PROJECTS THAT CAN ENSURE A SUSTAINABLE AND RELIABLE ENERGY SUPPLY TO THIS TERRITORY FOR MANY YEARS. THE ROLE OF LIQUEFIED NATURAL GAS IN SOLVING THIS PROBLEM MAY BE DECISIVE, ALTHOUGH SOMETIMES THE IMPORTANCE OF LNG IN THE ENERGY SUPPLY OF NORTHERN REGIONS IS UNDERESTIMATED, RELEGATING THIS TYPE OF FUEL TO THE BACKGROUND. THE AUTHOR OF THE ARTICLE TALKS ABOUT THE ADVANTAGES OF USING LNG IN NORTHERN LATITUDES AND THE SYNERGISTIC EFFECT OF ADOPTING A COMPREHENSIVE PROGRAM FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY PROJECTS RELATED TO LIQUEFIED NATURAL GAS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ключевые слова: Арктика, сжиженный природный газ, энергетические проекты, виды топлива, экология.

Эффективное топливо для Севера

Но сначала стоит сказать о том, что СПГ признан эффективным топливом не только для Арктики, но и для других отдаленных и изолированных территорий. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 645 от 26 октября 2020 года «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» высокая доля локальной генерации на основе дизельного топлива была отнесена к угрозам национальной безопасности страны.

«Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации на период до 2035 года» переход от эксплуатации генерации на дизельном топливе к возобновляемым источникам энергии, сжиженному природному газу и местным видам топлив будет осуществляться поэтапно и должен завершиться к 2035 году. Так же в соответствии с поручениями Президента Российской Федерации от 31.05.2020 № Пр-907 и от 07.02.2022 № Пр-276 по оценке альтернативных способов энергоснабжения в регионах, в которых недоступна сетевая газификация, началась работа по оценке возможностей использования СПГ для газификации регионов. С 2019 года приняты законы и другие акты нормативного регулирования, которые создали условия для развития микрогенерации и вовлечения населения в развитие устойчивых систем энергоснабжения.

Создание распределенной системы энергоснабжения в изолированных районах на основе микрогенерации позволит не только существенно расширить использование возобновляемых источников энергии, повысить устойчивость и надежность энергоснабжения, но и создать условия для повышения экономической активности местного населения. Особенно это касается Арктики. Активное промышленное развитие в этом макрорегионе на фоне ужесточающихся мер международного регулирования судоходства и качества топлив, ожидание введения углеродных

ФАКТЫ

В **5-10**
раз

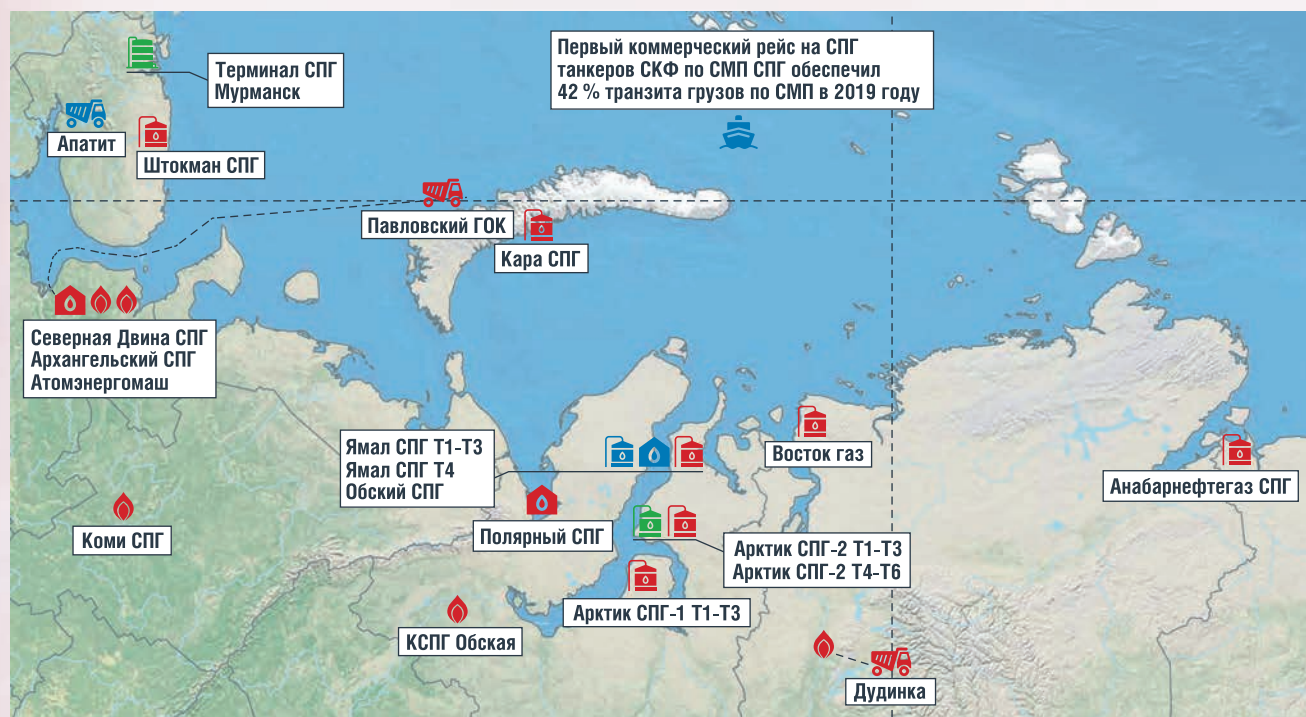
углеродный след
СПГ меньше, чем
у дизельного топлива

налогов на промышленную продукцию третьих стран в Европейском союзе требует долгосрочных надежных и проверенных решений.

Таковыми решениями могут быть мини-АЭС, СЭС, ВЭС. Но при всех достоинствах этих низкоуглеродных источников они не лишены характерных для таких видов генерации недостатков. АЭС, даже класса мини, часто избыточны по мощности для малочисленных населенных пунктов, а СЭС и ВЭС – непостоянны по времени генерации. Решение уже найдено – это газовые теплоэлектростанции, выполняющие роль как основных, так и балансирующих генераторов. Замена или дублирование ими существующих дизельных электростанций – насущная необходимость сегодняшнего дня, по многим параметрам: ценовому (СПГ в два раза дешевле на единицу энергии), углеродному следу (у СПГ он в 5–10 раз, меньше, чем у ДТ), экологическому (см. таблицу 1).

Логистика доставки СПГ в танк-контейнерах из грузораспределительных хабов почти такая же, как и дизельного топлива, доставляемого сегодня северным завозом иногда так долго, что оно приходит к потребителю только на следующий год. Но у СПГ есть большой плюс: газа в Сибири много местного, его можно добывать в регионе на мелких и средних месторождениях, сжимать на малотоннажных заводах и развозить по потребителям.

РИСУНОК 1. Карта объектов СПГ-отрасли западной части СМП



Источник: СПГ-карта 2022

Какие шаги, связанные с СПГ-технологиями, будут способствовать развитию Арктики? Во-первых, нужно развивать на этой территории производство малотоннажного СПГ и использовать для газификации северных районов сжиженный газ с крупнотоннажных СПГ-проектов. Далее, необходимо формировать инфраструктуру накопления и распределения СПГ в Арктике для газификации потребителей, создавать газовые хабы. Необходимо также реализовать пилотные проекты на Соловках, Чукотке, Тикси, Кандамакше, субсидировать затраты на газификацию арктических территорий, принять решение о модернизации арктического флота и запрете использовать суда на нефти. Также нужно как можно быстрее создавать инфраструктуру для бункеровки судов, транзита по Северному морскому пути и замещать дизельную генерацию на СПГ и ВИЭ.

Экологический эффект

Помимо всего прочего производство СПГ в Арктике позволит снизить выбросы парниковых газов. Целый ряд заявлений о необходимости запрета добычи и переработки газа в Арктике по климатическим причинам не подкрепляется фактами. Наоборот, производство СПГ в российских северных широтах, а не в США или Австралии, позволяет снизить выбросы CO₂.

Размещение распределительных хабов СПГ в портах устьев сибирских рек будет способствовать развитию как энергоснабжения населенных пунктов вдоль этих рек, так и бункеровки судов на СПГ топливе.

Внедрение альтернативных энергоносителей для судоходства обеспечит активное развитие

ФАКТЫ

На **30-40%**

сокращаются выбросы парниковых газов благодаря применению СПГ или альтернативных видов топлива

Северного морского пути в качестве международной транспортной магистрали. По подсчетам экспертов нашей Ассоциации, применение СПГ или альтернативных видов топлива позволит сократить выбросы парниковых газов в Арктике на 30–40% уже в ближайшие годы, а к 2030 году обеспечить 50-процентное сокращение при торговле между АТР и Европой, то есть на 20 лет ранее определенного ИМО срока. Интенсификация арктического судоходства на альтернативных видах топлива служит цели ограничения глобального потепления, то есть защиты самой Арктики. Получается, на первый взгляд, парадоксальный, но подтверждаемый практикой вывод: отказ от арктического судоходства не является рациональным способом защиты Арктики, а приводит к сохранению нефтяных топлив и к использованию менее экологически эффективных маршрутов. Сокращение же пути и времени следования через СМП взамен традиционных маршрутов через Панамский и Суэцкий каналы дает экономию в несколько дней и в десятки тонн неиспользованного топлива и выбросов в атмосферу.

При этом применение СПГ для судоходства может не только снять

все экологические риски разливов в Арктике, но и стать инструментом мягкой силы со стороны России. СПГ производится в Арктике только в России, и с помощью контроля за поставками топлива у нас появится возможность закрыть иностранным судам бесконтрольное плавание в Арктической зоне.

Козырь в климатических войнах

У использования СПГ в российской Арктике есть и политическая составляющая. Одним из вызовов в сфере обеспечения национальной безопасности является дискредитация деятельности РФ в северных широтах. Российские арктические проекты чрезвычайно уязвимы к экологической критике, так как связаны с добычей полезных ископаемых и значительным использованием нефтяных топлив при добыче и транспортировке готовой продукции. В сочетании с политизацией энергетики климатическое давление становится инструментом не просто конкуренции между энергетическими компаниями, но и элементом большой политики. Фактически можно говорить о масштабном использовании проблемы климата в качестве политического оружия. Инструментами такого климатического оружия становятся гринвошинг и манипуляция данными. В России в рамках защиты интересов в Арктике необходимо принять соответствующий закон, ограничивающий злоупотребления в части экологии и климата, включающий ответственность компаний и зарубежных стран за недобросовестное поведение.

Для координации развития Арктики необходимо, чтобы появился и единый оператор по газификации. Так как необходимого опыта и компетенций использования СПГ в Арктике у нас пока нет, предлагаем реализовать несколько СПГ-проектов, которые могли бы заполнить эту нишу.

В сочетании с политизацией энергетики климатическое давление становится инструментом не просто конкуренции между энергетическими компаниями, но и элементом большой политики

Речь идет о пилотном проекте островной газификации вне зоны СМП – Белое, Баренцево моря; газификации портов в районе СМП и создании инфраструктуры бункеровки; газификации припортовых районов и глобальной модернизации флота с переводом его на СПГ или альтернативные виды топлива; а также развитии СПГ-технологий на континентальной части нашей страны, с использованием внутренних водных путей.

На основе отраслевой кооперации, созданной Национальной ассоциацией сжиженного природного газа, необходимо разработать единую программу газификации регионов Арктической зоны РФ. Утвержденный правительством Российской Федерации «План развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года» предполагает развитие инфраструктуры использования сжиженного природного газа, а также метанола в акватории Северного морского пути и прибрежных территориях. Для Арктики необходим

ФАКТЫ

СПГ

доставляют в танк-контейнерах из грузо-распределительных хабов тем же способом, что и дизельное топливо

особый подход, который обеспечит лидерство Российской Федерации в развитии Арктики и позволит учитывать экологические аспекты, модернизацию энергосистем, бункеровку флота.

Для обеспечения развития необходимо использование следующих решений:

- производство малотоннажного СПГ и использование СПГ с крупнотоннажных проектов;
- формирование инфраструктуры накопления и распределения СПГ в Арктике для газификации потребителей, создание газовых хабов;
- реализация пилотных проектов на Новой Земле, Соловках, Чукотке, Тикси, Кандамакше;
- субсидирование затрат на газификацию арктических территорий;
- принятие решения о модернизации арктического флота и запрете использования судов на нефтяных топливах;
- создание инфраструктуры для бункеровки судов транзита по СМП;
- замещение дизельной генерации на СПГ и ВИЭ.

Непосредственная газификация и поставка газа для населенных пунктов с высокой сезонностью потребления газа требует высоких удельных затрат и может быть эффективно реализована после этапа формирования якорного потребителя.

Исходя из отсутствия необходимого опыта и компетенций использования СПГ, для проекта энергообеспечения Арктики целесообразна следующая практическая последовательность реализации:

- пилотный проект островной газификации вне зоны СМП – Белое, Баренцево моря;
- газификация портов в районе СМП, создание инфраструктуры бункеровки;
- газификация припортовых районов, тотальная модернизация флота с переводом на СПГ или альтернативные топлива;
- проникновение в континентальную часть, в т.ч. с использованием внутренних водных путей.

Архангельская область

Единственным местом в российской Арктике, где возможны газоснабжение из Единой системы газоснабжения (ЕСГ) и поставки газа к побережью, является территория Архангельской области. Географическое положение Архангельской области, размещение на ее территории крупных промышленных предприятий и важный статус логистического центра национального уровня для освоения Арктики, высокие цены на нефтяные виды топлива, позволяют рассчитывать на большие перспективы использования СПГ в Архангельской области в качестве газомоторного и бункерного топлива, для автономной и распределенной генерации. Архангельские проекты производства СПГ – первые в Арктике, где СПГ может не только производиться, но и полномасштабно использоваться на внутреннем рынке.

Примером государственного отношения к Арктике может быть проект Павловского месторождения. АО «Первая горнорудная компания» (ПГРК) является предприятием горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом» и реализует проект по созданию в Арктике горнодобывающего производственного комплекса на базе серебросодержащего свинцово-цинкового месторождения Павловское на архипелаге Новая Земля. Заявленная энергетическая инфраструктура горнодобывающего предприятия включает в себя электростанцию мощностью около 40 МВт. Ответственность за использование СПГ и метанола на СМП несет «Росатом», развивающий ВЭС, АЭС и водород.

Архангельские проекты производства СПГ – первые в Арктике, где СПГ может не только производиться, но и полномасштабно использоваться на внутреннем рынке

При этом проект предусматривает архаичный и экологически опасный способ энергоснабжения на базе дизельных генераторов. Размер хранилища ДТ оценивается в 45 тыс. м³, что больше, чем резервуар, ставший причиной экологической катастрофы в Норильске в 2020 году. Возможные последствия аварии на Новой Земле от разлива ДТ могут бытькратно опаснее. ДТ после Норильской катастрофы дошло до вод Северного Ледовитого океана по рекам Сибири через 500 километров. От Павловского ГОКа до берега Северного Ледовитого океана – несколько километров всего.

«Первая горнорудная компания» в 2018 году рассматривала возможность использования СПГ для энергообеспечения ГОКа. Использование СПГ обеспечивает лучшие экономические показатели проекта. Однако для создания инфраструктуры на СПГ необходимы большие капитальные затраты. Выходом может стать интегрированный проект топливо- и энергоснабжения Павловского ГОКа, включающий в себя полный цикл от производства

ФАКТЫ

Архангельская область

является единственным субъектом в российской Арктике, где возможны поставки газа к побережью и организация газоснабжения из Единой системы

СПГ на материке до поставки электрической и тепловой энергии потребителю.

Интегрированный проект состоит из двух основных производственных блоков:

- производство и логистика СПГ;
- хранение СПГ на Новой Земле, генерация электрической и тепловой энергии.

Например: произведенный СПГ в Новодвинске поставляется на береговой терминал с использованием автомобильного транспорта. Береговой терминал необходим для перевалки СПГ на малотоннажные газовозы и транспортировки СПГ потребителю. Для реализации проекта необходимо строительство судна-газовоза с допустимой осадкой до 7 метров и вместимостью 4500–10 000 м³. Порт Архангельск является замерзающим, а для перевозки СПГ необходим газозов ледового класса Arc4.

При этом газозов будет работать в челночном режиме круглогодично. Основная функция газозова заключается в перевозке СПГ для потребителей на Новой Земле. Однако в свободное от перевозки время газозов может использоваться для бункеровки судов на СМП, обеспечить перевозку СПГ для «НОВАТЭКа» в районе терминала в Мурманске, поставлять СПГ для потребителей в удаленных районах Архангельской и Мурманской области – Соловки, Кандалакша.

Важным проектом по внедрению СПГ на рынок может быть проект энергообеспечения Большого Соловецкого острова с полным отказом от использования нефтяных топлив в этом паломническом и туристическом центре. В результате будет реализован пилотный проект обеспечения островных территорий и создания зоны свободной от использования нефтепродуктов.

Призываем всех заинтересованных лиц к объединению для реализации проектов энергетического преобразования российской Арктики. ●

KEYWORDS: Arctic, liquefied natural gas, energy projects, fuels, ecology.

О ЧЕМ ПИСАЛ Neftegaz.RU 10 ЛЕТ НАЗАД...

Россия и Казахстан подписали предварительное соглашение по транзиту нефти

11 ноября 2013 г. Роснефть, Казмунайгаз и Казтрансойл подписали предварительный договор транспортировки нефти через территорию Казахстана. Предполагается, что Роснефть будет поставлять 7 млн тонн нефти на Павлодарский НПЗ в Казахстане, а Казмунайгаз по свопу отправит столько же в Китай по МНП Атасу – Алашанькоу.



• Комментарий Neftegaz.RU

16 июня 2023 г. глава Минэнерго РФ Н. Шульгинов сообщил, что объем транзита российской нефти через Казахстан увеличен до 10 млн т в год. Речь идет о транспортировке по МНП Туймазы – Омск – Новосибирск-2 в направлении Атасу – Алашанькоу. Кроме этого, власти Казахстана пытаются договориться об увеличении объемов поставок нефти в Германию по МНП Дружба объемом до 2 млн т нефти в год. За 9 месяцев 2023 г. по системе МНП Транснефти в ФРГ было транспортировано 589,6 тыс. т нефти. По итогам года Казахстан планирует



транспортировать по МНП Дружба в Германию 900 тыс. т нефти. Прокатка российской нефти в ФРГ не ведется с начала 2023 г.

Первая вьетнамская АЭС будет запущена в 2023 г.

В ноябре 2013 г. президент РФ В. Путин написал в статье «Россия – Вьетнам: вместе к новым рубежам сотрудничества», что энергоблоки первой вьетнамской АЭС Ниньтуан-1 будут запущены в 2023 и 2024 гг. Ключевую роль в развитии российско-вьетнамской промышленной играет нефтегазовая сфера. Свое присутствие во Вьетнаме наращивают Роснефть и Газпром.

• Комментарий Neftegaz.RU

АЭС так и не была построена, в 2016 г. правительство Вьетнама решило отказаться от проекта. Но сегодня в сотрудничестве с Росатомом ведутся подготовительные работы по сооружению на юге Вьетнама Центра ядерной науки и технологий. Продолжается сотрудничество в других областях энергетической отрасли. 12 октября 2023 г. Россия и Вьетнам обсудили вопросы совместной добычи на шельфе Вьетнама, модернизации и строительства электроэнергетических объектов, сооружения ветропарков на территории Вьетнама.

А.Новак: «Ямал СПГ» не получит новые льготы

«Ямал СПГ» не может претендовать на изменение решений по налоговым льготам, которые были приняты, несмотря на рост расходов, сообщил глава Минэнерго РФ А. Новак в ноябре 2013 г. В 2009 г. компании был представлен полный перечень налоговых льгот, которые позволяют реализовать проект.

• Комментарий Neftegaz.RU

Но льгот и преференций будет еще много. В 2015 году правительство одобрило покупку облигаций «Ямал СПГ» на 150 млрд руб. из ФНБ. За счет

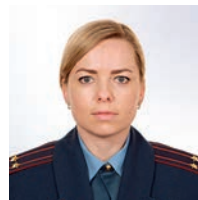


государства было на три четверти профинансировано строительство грузового порта Сабетта. В 2019 г. обнулили пошлины на ввоз судов, работающих на проекте «Ямал СПГ». Льготный режим для танкеров-газовозов будет действовать до 2043 г. В 2023 г. установили нулевой НДС на природный газ на Ямале, в том числе при добыче для производства СПГ. ●

БУНКЕРОВКА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СПГ: противопожарное нормирование



Лагозин Андрей Юрьевич
заместитель начальника
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
начальник НИЦ НТП ПБ



Мордвинова Анна Витальевна
начальник научно-исследовательского сектора
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
доцент кафедры инженерной
экологии и охраны труда
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», к.т.н.



Некрасов Валерий Петрович
ведущий научный сотрудник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
к.т.н., с.н.с.



Мирошникенко Сергей Александрович
младший научный сотрудник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
магистрант ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

АВТОРЫ СТАТЬИ ПРОВЕЛИ РЯД ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗРАБОТКУ НОВОГО НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ – СВОДА ПРАВИЛ «БУНКЕРОВКА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ. БУНКЕРНЫЕ ПРИЧАЛЫ. ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ». В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ БУНКЕРОВКИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА СЖИЖЕННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ, ВЫЯВЛЕНЫ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫЕ СИТУАЦИИ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРИВЕСТИ К РАЗЛИВУ СПГ, ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ПОЖАРУ ИЛИ ВЗРЫВУ. БЫЛИ РАЗРАБОТАНЫ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ, ОГРАНИЧЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ, А ТАКЖЕ ОПРЕДЕЛЕНЫ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРОВ С ПОМОЩЬЮ СПГ

SEVERAL THEORETICAL STUDIES ARE BEING CARRIED OUT AIMED AT DEVELOPING A NEW REGULATORY DOCUMENT ON FIRE SAFETY – A SET OF RULES «LIQUEFIED NATURAL GAS BUNKERING. BUNKER BERTHS. FIRE SAFETY REQUIREMENTS». THE MAIN FEATURES OF THE PROCESSES OF BUNKERING WATER TRANSPORT WITH LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) ARE CONSIDERED, THE MAIN MOST DANGEROUS SITUATIONS THAT CAN LEAD TO AN LNG SPILL, A SUBSEQUENT FIRE AND / OR EXPLOSION ARE IDENTIFIED. MEASURES HAVE BEEN DEVELOPED TO PREVENT THE OCCURRENCE OF FIRES, LIMIT THE SPREAD OF FIRES, AND DETERMINED THE DIRECTIONS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS FOR LOCALIZING FIRES WITH LNG

Ключевые слова: сжиженный природный газ, СПГ, пожарная безопасность, моторное топливо, бункеровка судов, свод правил, нормативный документ, СП 528.1311500.2023.

К одному из значимых процессов, без которого невозможно представить нормальное и эффективное функционирование речного и морского транспорта, относят бункеровку судов или бункерные операции. Выбор топлива для водного транспорта – вопрос, не теряющий своей актуальности как с экономической точки зрения, так и в части энергоэффективности топлива и снижения вредного воздействия на окружающую среду при эксплуатации флота.

Требования Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 78/78), ограничивающие количество вредных выбросов в атмосферу водным транспортом, способствуют планомерному отказу от применения традиционных видов нефтяного топлива в судоходстве.

В качестве замены традиционных видов топлива для судов, по мнению многих крупных морских экспертных организаций, может выступать сжиженный природный газ (далее – СПГ). Применение СПГ позволит сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, решить проблемы аварийных разливов, характерных для нефтяного топлива, а также снизить затраты на техническое обслуживание двигателей. Как отмечают авторы [5], СПГ является одним из наиболее экономически эффективных видов топлива для морских судов.

Несмотря на отмеченные выше преимущества СПГ, его использование вместе с тем может сопровождаться существенными рисками, которые заключаются в основном в его взрывопожароопасных свойствах. В случае аварийной

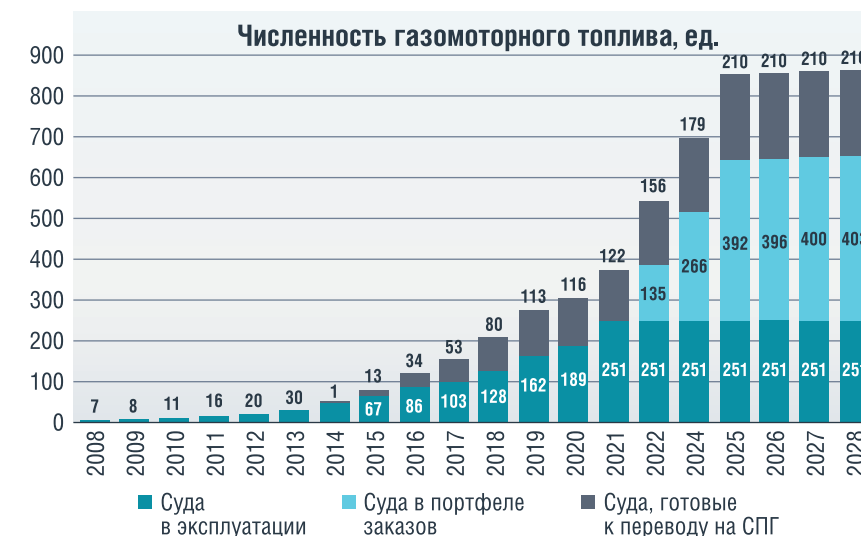
ситуации, связанной, например, с разгерметизацией технологического оборудования, с большой вероятностью произойдет выброс жидкости в окружающее пространство, и СПГ (с температурой хранения – минус 162 °С) начнет интенсивно испаряться, в результате чего образуются облака газозооной смеси взрывоопасных концентраций, способных к горению в дефлаграционном или при определенных условиях в детонационном режиме. Также опасность представляет режим так называемого струйного (факельного) горения, характерного, как правило, для разгерметизации с небольшим диаметром отверстия и истечением газожидкостной струи СПГ из оборудования под давлением.

Применительно к процессу бункеровки водного транспорта СПГ, к таким ситуациям могут привести утечки СПГ из грузовых емкостей или резервуаров хранения СПГ, а также из трубопроводов в момент проведения бункеровочных операций.

Специфика пожарной опасности объектов с обращением СПГ подробно рассмотрена в работе [6], авторы которой делают заключение о том, что при аварийных разливах и выбросах СПГ появляются дополнительные, по сравнению с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, опасные факторы, такие как:

- быстрообразующиеся пожаровзрывоопасные облака, распространяющиеся на большие расстояния;
- высокая плотность теплового излучения пламени (для пожара пролива СПГ – до 220 кВт/м². Для сравнения – эта величина для других видов топлив составляет: сжиженные углеводородные газы – до 100 кВт/м², бензин – до 60 кВт/м², дизельное топливо – до 40 кВт/м²);
- высокотемпературный горящий факел, возникающий при истечении паровой и (или) жидкостной фазы СПГ и т.п.;

РИСУНОК 1. Динамика увеличения газомоторного флота до 2028 года



- низкие температуры, приводящие при определенных условиях к потере прочности и функционального назначения материалов, конструкций резервуаров и технологического оборудования, что может привести к увеличению масштабов аварии [6].

Исследования существующей необходимости в бункеровке водного транспорта СПГ не показывают каких-либо существенных ограничений по типам и специализации судов, которые могут использовать СПГ в качестве топлива (при соответствующем оснащении их необходимым оборудованием).

На сегодняшний день в мире успешно осуществляются разработки в области судовых энергетических установок, портового оборудования, систем обработки и хранения топлива. На рисунке 1 показаны существующие тенденции к увеличению числа эксплуатируемых единиц морского транспорта, использующих СПГ в качестве топлива (по данным международного сертификационного и классификационного общества Det Norske Veritas число судов на СПГ в мире к 2028 году составит 654 судна).

Пример эксплуатируемых в настоящее время в мире морских судов на СПГ представлен в таблице 1.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что СПГ в качестве моторного топлива могут использовать суда, выполняющие как грузовые, так и пассажирские перевозки. И в случае возникновения пожара и/или взрыва воздействию их опасных факторов могут быть подвержены не только экипаж судна, который проходит специальную подготовку, но и обычные пассажиры.

В настоящее время инфраструктура бункеровки СПГ в России мало развита и одним из главных, замедляющих ее развитие факторов является несовершенство нормативно-правовой базы, в том числе – недостаточность требований в области обеспечения пожарной безопасности. Об этом также свидетельствуют выводы различных научных публикаций, например [7]. За последние годы в российской нормативной базе выпущены три национальных стандарта по бункеровке судов СПГ [2–4], содержащие лишь общие требования, которых недостаточно в части обеспечения пожарной безопасности бункерных причалов.



ТАБЛИЦА 1. Примеры типов судов, использующих СПГ в качестве топлива

Водный транспорт	Примеры
Ледоколы	Первый мощный ледокол ледового класса PolarClass 4 Icebreaker, работающий на СПГ, был введен в эксплуатацию в Финляндии в 2016 г.
Танкеры	В 2017 г. было подписано соглашение между компаниями «Совкомфлот» и Shell по поставке СПГ для первых в мире танкеров размера Aframax. CreoleSpirit – первое газомоторное танкерное судно компании Teekay, введенное в эксплуатацию в 2016 г. Первый российский танкер, получивший название «Владимир Мономах», был введен в эксплуатацию в 2020 г.
Контейнеровозы	Контейнеровоз «IslaBella» – первый в мире, построен NASSCO в Сан-Диего для компании TOTE в 2015 г. По сведениям судовладельца, двигатели судна снизили выбросы окисей азота на 98 %, окисей серы на 97 % и углекислого газа на 72 %, сделав его самым чистым экологическим проектом для такого размера судна
Паромы	Морской паром Viking Grace введен в эксплуатацию с 2013 года, он оснащен четырьмя газодизельными силовыми установками Wartsila (запальная доза дизельного топлива = 2 %), работающими на электрогенераторах. На бункеровку примерно 60 тонн СПГ требуется менее одного часа
Круизные суда и лайнеры	В 2018 г. состоялась поставка судна AIDAnova компании Carnival Corporation, которое является первым мировым пассажирским круизным лайнером, работающим на СПГ-топливе
Паромы	Самый большой в мире паром Ro-Ro Searoad Mersey 2 с силовой установкой на СПГ заказан австралийским судовладельцем SeaRoad и построен в Германии в 2016 г. Судно имеет гибкие возможности перевозки груза и способно размещать контейнеры, включая рефрижераторные, трейлеры, автомобили и опасные грузы, а также домашний скот
Суда снабжения платформ / суда морской поддержки	Суда снабжения платформ специально спроектированы для снабжения морских платформ и буровых установок. Эти суда могут иметь длину от 50 до 100 метров и способны выполнять разнообразные задачи. Обычно они поддерживают работу морских платформ, подвозя необходимое снабжение на платформу или увозя с нее, и снабжают береговые базы

Поэтому для совершенствования нормативных требований по обеспечению пожарной безопасности объектов с обращением СПГ специалистами ФГБУ ВНИИПО МЧС России был разработан проект свода правил «Бункеровка водного транспорта сжиженным природным газом. Бункерные причалы. Требования пожарной безопасности» (далее – свод правил).

Актуальность разработки свода правил обусловлена тем, что в одной из задач Плана мероприятий («Дорожной карты») по развитию рынка малотоннажного сжиженного природного газа и газомоторного топлива в Российской Федерации на период до 2025 года, утв. Распоряжением Правительства Российской

Федерации от 13.02.2021 № 350-р, является разработка сводов правил для обеспечения требований пожарной безопасности при экипировке железнодорожного транспорта и бункеровке водного транспорта сжиженным природным газом.

Ранее совокупные требования пожарной безопасности к операции бункеровки водного транспорта СПГ, а также требования пожарной безопасности при проектировании и строительстве объектов инфраструктуры бункеровки СПГ в нормативных документах по пожарной безопасности не содержались.

Рассмотрим некоторые основные нормативные требования пожарной безопасности, установленные в настоящем своде правил.

Следует отметить, что требования, изложенные в своде правил, установлены для бункерных причалов с количеством СПГ на объекте менее 1500 т, при единичном объеме криогенного резервуара не более 260 м³ при полуизотермическом способе хранения и 2000 м³ при изотермическом способе хранения.

Свод правил распространяется на бункеровку водного транспорта СПГ присущими для бункерных причалов методами «автоцистерна-судно», «железнодорожная цистерна-судно», «танк-контейнер-судно», «береговые стационарные или мобильные резервуары хранения-судно» и не распространяются на бункеровку газотопливных судов СПГ методом «судно-судно»; на операции по отгрузке СПГ в грузовые танки судов-бункеровщиков, осуществляющих последующую бункеровку судов СПГ методом «судно-судно»; на проектирование, правила постройки и оборудование газотопливных судов и судов-бункеровщиков СПГ, требования к которым регламентируются соответствующими нормативными документами классификационных обществ, под надзором которых они строятся.

Разработанный свод правил устанавливает требования пожарной безопасности как технического, так и организационного характера, которые следует соблюдать при проектировании, строительстве и эксплуатации бункерных причалов и объектов их инфраструктуры.

Сформулированы основные требования пожарной безопасности, предъявляемые к генеральному плану бункерного причала и размещению на нем основных зданий, сооружений, наружных установок, технологического и иного оборудования и трубопроводов. В соответствии с этими требованиями при размещении бункерного причала следует предусмотреть функциональное зонирование его территории. Наименование выделяемых зон и возможный состав размещаемых в них объектов и технологического оборудования представлены в таблице 2.

Функциональное зонирование преследует своей целью объединение схожих по своей пожарной опасности объектов, выполняющих определенные функции, установление требований для каждой функциональной зоны

ТАБЛИЦА 2. Наименование зон и возможный состав размещаемых в них основных объектов и технологического оборудования

Наименование зоны	Состав зон
Хранение СПГ	Стационарные криогенные резервуары, испарители наддува, криогенные насосы, трубопроводы, арматура системы ПАЗ
Производственная	Криогенные насосы, компрессоры, испарители, трубопроводы, арматура
Бункеровка судов	Стендеры с гидравлической станцией управления, эстакада железнодорожная бункеровочная, площадка установки ПЗ СПГ или танк-контейнеров, трубопроводы подачи СПГ на суда с арматурой и бункеровочным соединением
Газосброс	Труба газосброса, коллекторы, трубопроводы, факельная установка
Служебная	Операторная, газоанализаторная
Вспомогательная	Насосная станция противопожарного водоснабжения, пожарные резервуары, канализационная насосная станция, вспомогательные здания и сооружения

отдельно и для создания условий по эффективному осуществлению действий по тушению возможных пожаров на данных объектах.

В частности, в своде правил устанавливаются требования к расположению въездов, проездов и подъездов для пожарной техники

и регламентируются значения минимальных противопожарных расстояний между объектами, входящими в состав бункерного причала (таблицы 3, 4).

Кроме того, учитывая высокую пожаровзрывоопасность бункерного причала, в своде

ТАБЛИЦА 3. Минимальные расстояния от стационарных полуизотермических резервуаров и наружных установок зоны хранения СПГ до объектов, размещенных в других зонах причала

Наименование объекта	Минимальные расстояния от стационарных полуизотермических резервуаров и наружных установок зоны хранения СПГ, м (при единичной вместимости резервуара, м³)						
	8	16	25	50	63	100	260
Здания и наружные установки производственной зоны	12	15	20	25	27	30	40
Здания и сооружения служебной зоны	9	9	9	15	20	30	40
Здания и сооружения зоны бункеровки судов (площадка слива СПГ из ПЗ СПГ, железнодорожная эстакада слива СПГ, площадка установки танк-контейнеров СПГ, стендеры)	12	15	20	25	27	30	40
Здания и сооружения вспомогательной зоны	20	20	25	30	35	40	50

ТАБЛИЦА 4. Минимальные расстояния от стационарных изотермических резервуаров СПГ до объектов, размещенных в других зонах причала

Наименование объекта	Минимальные расстояния от стационарных изотермических резервуаров СПГ, м (при единичной вместимости резервуара, м³)			
	500	1000	1500	2000
Здания и наружные установки производственной зоны	55	65	70	80
Здания и сооружения служебной зоны	50	55	60	70
Здания и сооружения зоны бункеровки судов (площадка слива СПГ из ПЗ СПГ, железнодорожная эстакада слива СПГ, площадка установки танк-контейнеров СПГ, стендеры)	55	65	70	80
Здания и сооружения вспомогательной зоны	60	70	80	90

правил установлены минимальные противопожарные расстояния от причала до не относящихся к нему (соседних) объектов (таблица 5).

В целях обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и наружных установок бункерных причалов в проекте свода правил изложены требования к их объемно-планировочным и конструктивным решениям. Так, здания следует проектировать I, II или III степени огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности С0, а насосная станция противопожарного водоснабжения (при ее наличии на причале) должна иметь I степень огнестойкости. Также в своде правил установлены пределы огнестойкости, предъявляемые к строительным конструкциям бункерного причала, значения которых представлены в таблице 6.

Для целей соблюдения положений статьи 52 Федерального закона [1], проект свода правил содержит раздел, который устанавливает требования, обеспечивающие в случае пожара безопасную эвакуацию людей. Эвакуационные и аварийные выходы, пути эвакуации

ТАБЛИЦА 5. Минимальные противопожарные расстояния от объектов бункерного причала до не относящихся к нему объектов

Наименование объектов, не относящихся к бункерному причалу	Расстояние, м
Железные дороги	100
Автомобильные дороги общей сети	50
Жилые здания и общественные здания	500
Границы территории смежных (технологически не связанных) промышленных предприятий (до ограждения), отдельно стоящие административно-бытовые здания промышленных предприятий, сторонние гидротехнические сооружения	300

ТАБЛИЦА 6. Пределы огнестойкости строительных конструкций бункерного причала

Сооружения и строительные конструкции	Предел огнестойкости (не менее)
Ограждения резервуаров СПГ	E 150
Опорные конструкции резервуаров СПГ	R 150
Противопожарные преграды (применяемые для сокращения расстояний, указанных в таблице 4), при наличии	E 90
Противопожарные преграды (применяемые для сокращения расстояний, указанных в таблице 5), при наличии	E 120
Несущие конструкции железнодорожных бункеровочных эстакад: • колонны • балки, ригели и связи	R 120 R 60
Опоры технологических аппаратов	R 120
Несущие конструкции сооружений, расположенных на расстоянии менее 30 м от стендеров	R 120

из зданий, сооружений и наружных установок должны соответствовать требованиям Федерального закона [1], СП 1.13130 и настоящего свода правил. Для зданий бункерного причала должно быть предусмотрено не менее двух эвакуационных выходов с каждого этажа здания, а длина тупиковых коридоров должна быть более 7 м.

При этом следует отметить, что для обеспечения безопасной эвакуации необходимо выполнять полный комплекс мероприятий, заложенных в настоящий свод правил.

С целью предотвращения возникновения аварийных ситуаций с пожарами и взрывами на причале в проекте свода правил предусмотрен ряд нормативных требований к технологическому оборудованию. В частности, установлены следующие требования:

- к размещению технологического оборудования, согласно которым размещение технологического оборудования должно обеспечивать удобство и безопасность его эксплуатации

и возможность принятия незамедлительных мер по недопущению аварийных ситуаций или локализации аварий. Также технологическое оборудование следует размещать, как правило, на открытых площадках;

- к оборудованию (включая резервуары СПГ, технологические трубопроводы и другое оборудование);
- пожарной безопасности при эксплуатации технологического оборудования.

Для целей перевода технологического оборудования в безопасное состояние при возникновении аварии на бункерном причале должна быть предусмотрена система противоаварийной защиты, отвечающая требованиям, установленным нормативными документами по промышленной безопасности и настоящим сводом правил. Также бункерный причал должен оборудоваться системами видеонаблюдения и оповещения об аварийной ситуации.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций, связанных с нарушением герметичности технологического оборудования с находящимся в нем СПГ, бункерный причал должен быть оснащен системой обнаружения утечек горючих газов и/или паров согласно требованиям, которые изложены в нормативно-правовых актах и нормативных документах в сфере промышленной безопасности.

Следует отметить, что система обнаружения утечек СПГ должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- обнаружение утечек горючих газов и/или паров при разгерметизации технологического оборудования;
- включение сигнализации об обнаружении утечек в операторной с указанием места расположения зоны загазованности;
- срабатывание по соответствующему алгоритму исполнительных систем и устройств противоаварийной и противопожарной защиты.

Кроме того, в проекте свода правил регламентируется необходимость оснащения технологических площадок бункерного причала, на которых размещено оборудование с СПГ, сборниками аварийных проливов СПГ, расстояния от которых до резервуаров и другого оборудования должны определяться, исходя из безопасной плотности потока теплового излучения при пожаре находящегося в сборнике продукта. Вместимость сборников аварийных проливов СПГ должна определяться, исходя из максимальной проектной аварии, связанной с утечкой жидкой фазы СПГ из оборудования, расположенного на рассматриваемой площадке.

Одной из составляющих системы обеспечения пожарной безопасности бункерного причала является система противопожарной защиты, от качественного проектирования, эксплуатации и технического обслуживания которой зависит безопасность всего объекта в целом. Свод правил устанавливает нормативные требования, предъявляемые к системам противопожарной защиты, а именно: системам пожарной сигнализации, системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, противопожарному водоснабжению,

а также системам пожаротушения и водяного орошения, которыми оснащаются объекты инфраструктуры бункеровки СПГ.

Необходимость оснащения зданий, сооружений, оборудования и наружных установок бункерного причала системами противопожарной защиты устанавливается в соответствии с СП 486.1311500. Проектирование систем пожарной сигнализации в зданиях и помещениях бункерных причалов следует осуществлять в соответствии с нормами и правилами, изложенными в СП 484.1311500, а при выборе пожарных извещателей следует принимать во внимание возможные факторы воздействия в местах их установки.

Согласно подразделу 7.12, система оповещения и управления эвакуацией должна быть не ниже 2-го типа в соответствии с СП 3.13130 и иметь автоматическое или полуавтоматическое управление.

Свод правил устанавливает требования, предъявляемые к системам противопожарного водоснабжения, а именно:

- запасу воды для целей пожаротушения и водяного охлаждения;
- насосной станции противопожарного водоснабжения;
- кольцевому противопожарному водопроводу.

Кроме того, в своде правил приведены требования к установкам пожаротушения, водяного орошения и водяных завес, стационарным лафетным стволам, мобильным средствам пожаротушения, первичным средствам пожаротушения, которые предназначены для тушения и локализации очагов возгорания на объектах инфраструктуры бункеровки СПГ.

В проект свода правил включены также минимальные организационные требования пожарной безопасности, которые следует соблюдать при подготовке и проведении бункеровочных операций водного транспорта сжиженным природным газом, в том числе:

- 1) разработка и утверждение инструкций о мерах пожарной безопасности, а также как дополнение к инструкциям – проверочных чек-листов;

2) обучение персонала, участвующего в бункеровочных операциях, соответствующим мерам пожарной безопасности;

3) выполнение соответствующие условий при проведении операций бункеровки:

- главные двигатели газотопливного судна при бункеровке должны быть в состоянии немедленной готовности;
- между газотопливным судном и бункерным причалом должна быть установлена надежная связь;
- должны быть подготовлены необходимые средства обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения;
- должны быть установлены поддоны для сбора проливов в местах возможной утечки СПГ, выполненные из материалов, устойчивых к воздействию криогенных температур и гидростатическому давлению пролитой жидкости;

4) не допускается проводить бункеровочные операции:

- при проведении огневых работ на судне и/ или на бункеровочной базе;
- во время грозы, шторма и др.;
- при недостаточном естественном или искусственном освещении рабочей зоны;
- через корпус другого судна;
- при неисправности систем обеспечения безопасности, в том числе систем пожаротушения, системы контроля загазованности, системы аварийного останова, системы аварийного разъединения, системы продувки азотом и др.

Разработанный проект свода правил прошел стадию публичных обсуждений, был рассмотрен и согласован в двух технических комитетах по стандартизации, а также прошел процедуру согласования в федеральных органах исполнительной власти. На каждом из этапов согласований проект свода правил дорабатывался по поступившим замечаниям и предложениям и 25 августа был подписан Приказ МЧС России № 898, в соответствии с которым данный свод правил был утвержден и вступит в силу с 1 марта 2024 г. 26 сентября 2023 года свод правил зарегистрирован Федеральным

агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и ему присвоен номер – СП 528.1311500.2023.

В заключение следует отметить, что введение и последующее применение на территории Российской Федерации такого нормативного документа позволит усовершенствовать нормативные требования пожарной безопасности, предъявляемые к объектам с обращением СПГ, что обеспечит снижение риска возникновения пожара при проведении бункеровочных операций водного транспорта СПГ, а также повышение уровня пожарной безопасности при проектировании и строительстве данных объектов защиты. ●

Литература

1. *Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями на 14.07.2022, действует с 01.03.2023) [электронный ресурс] – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. АО «Кодекс», 2023 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902111644/>. – Дата обращения: 07.11.2023.*
2. *ГОСТ Р 59020-2020. Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Термины и определения». [электронный ресурс] – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. АО «Кодекс», 2023 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200175364/>. – Дата обращения: 07.11.2023.*
3. *ГОСТ Р 59021-2020. Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Общие требования» [электронный ресурс] – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. АО «Кодекс», 2023 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200175365/>. – Дата обращения: 07.11.2023.*
4. *ГОСТ Р 59022-2020. Нефтяная и газовая промышленность. Грузовые операции и бункеровка сжиженным природным газом. Оборудование причалов» [электронный ресурс] – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. АО «Кодекс», 2023 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200175366/>. – Дата обращения: 07.11.2023.*
5. *А. Книжников, А. Климентьев «Внедрение альтернативных видов топлив для бункеровки. От Балтики к Арктике» / Дискуссионные материалы к международной конференции «НЕБА-2019», сентябрь 2019 г., Санкт-Петербург, 28 с.*
6. *И.А. Болодьян, В.П. Молчанов и др. «Пожаровзрывобезопасность объектов хранения сжиженного природного газа. Процессы испарения и формирования пожаровзрывоопасных облаков при проливе жидкого метана. Методики оценки параметров» / Пожарная безопасность. 2000. № 4. С. 108–117.*
7. *А.С. Буннов, В.Е. Семенов и др. «Нормативно-правовое регулирование бункеровки судов сжиженным природным газом в морских портах России» / Газовая промышленность, 2020, № 3/798, с.76–82.*

KEYWORDS: *liquefied natural gas, LNG, fire safety, motor fuel, bunkering of ships, code of rules, regulatory document, SP 528.1311500.2023.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ в средствах индивидуальной защиты

**Дубинов
Юрий Сергеевич**

заведующий лабораторией
кафедры металловедения
и неметаллических материалов,
доцент, к.т.н.

**Прыгаев
Александр Константинович**

декан факультета
инженерной механики,
заведующий кафедрой
металловедения и
неметаллических материалов,
доцент, к.т.н.

**Рахматуллина
Резеда Ришатовна**

студент

**Дубинова
Ольга Богдановна**

ассистент кафедры
металловедения
и неметаллических материалов

**Танасенко
Максим Сергеевич**

ассистент кафедры
металловедения
и неметаллических материалов,
аспирант

Российский государственный
университет нефти и газа (НИУ)
им. И.М. Губкина

ОБОРУДОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ РАБОТАЕТ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НАГРУЗОК, НО В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ АБСОЛЮТНО ВСЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИСПЫТЫВАЕТ ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЫ. ЭТО ПОДВЕРГАЕТ ПЕРСОНАЛ ВЛИЯНИЮ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ. АВТОРЫ ОПИСЫВАЮТ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ. ПРОАНАЛИЗИРОВАНЫ СУЩЕСТВУЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ВИБРОГАСЯЩЕЙ ОБУВИ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ЭТОГО МАТЕРИАЛЫ. СОЗДАН СТЕНД ДЛЯ ОЦЕНКИ ВИБРОГАСЯЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ. ПРОВЕДЕНЫ ИСПЫТАНИЯ НЕВСПЕНЕННЫХ ПОЛИУРЕТАНА И СИЛИКОНА БЕЗ АРМИРОВАНИЯ И АРМИРОВАННЫХ ПРОВОЛОКОЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА, УЛОЖЕННОЙ В ВИДЕ «СПИРАЛИ» И «ЗИГЗАГА». ОПРЕДЕЛЕН НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНЫЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ, ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИКОНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВИБРОГАСЯЩЕЙ ОБУВИ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ УМЕНЬШИТЬ ВРЕДНОЕ ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОТРУДНИКОВ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ В ОБСЛУЖИВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

EQUIPMENT IN THE OIL AND GAS COMPLEX OPERATES IN DIFFICULT CONDITIONS WITH VARIOUS TYPES OF LOADS, BUT IN THE PROCESS OF OPERATION, ABSOLUTELY ALL EQUIPMENT EXPERIENCES VIBRATION EFFECTS OF VARIOUS FREQUENCIES. THE PERSONNEL SERVICING THE EQUIPMENT IS THUS EXPOSED TO HARMFUL AND DANGEROUS PRODUCTION FACTORS. IN THIS PAPER, THE FEATURES OF THE INFLUENCE OF VIBRATION EFFECTS ON THE HUMAN BODY ARE STUDIED. THE MAIN PARAMETERS NECESSARY FOR ASSESSING THE LEVEL OF VIBRATION AND ITS IMPACT ON OTHERS ARE DESCRIBED. THE EXISTING DESIGNS OF VIBRATION-DAMPING SHOES AND THE MATERIALS USED FOR THIS ARE ANALYZED. A STAND TO ASSESS THE VIBRATION DAMPING ABILITY OF MATERIALS IN A WIDE FREQUENCY RANGE HAS CREATED. TESTS OF NON-FOAMED POLYURETHANE AND SILICONE WITHOUT REINFORCEMENT AND REINFORCED WITH TITANIUM NICKELIDE WIRE LAID IN THE FORM OF A "SPIRAL" AND "ZIGZAG" WERE CARRIED OUT. THE MOST OPTIMAL, FROM THE POINT OF VIEW OF CHANGING VIBRATION PARAMETERS, THE OPTION OF USING SILICONE TO CREATE VIBRATION-DAMPING SHOES AS A MEANS OF INDIVIDUAL PROTECTION, WHICH WILL REDUCE THE HARMFUL EFFECTS OF VIBRATION EFFECTS ON EMPLOYEES INVOLVED IN THE MAINTENANCE OF OIL AND GAS COMPLEX EQUIPMENT, HAS BEEN DETERMINED

Ключевые слова: *вибрация, вибродемпфирующий материал, средства индивидуальной защиты, виброгашение, виброускорение, виброскорость, виброперемещение.*

С развитием техники и технологий в нефтяной и газовой промышленности увеличивается количество механизмов, выполняющих большую часть технологических операций, однако некоторые виды работ остаются не автоматизированы.

В связи с этим человек в процессе работы с машинами и оборудованием подвергается воздействию вредных, а иногда и потенциально опасных производственных факторов. Одним из основных опасных производственных факторов является вибрация: она возникает в результате работы оборудования, проведения технологических операций, случайных вибраций и т.д.

Вибрация и, как следствие, шум, являясь общебиологическими раздражителями, влияют на все системы организма человека, вызывают преждевременное утомление у рабочих, снижают работоспособность и производительность труда. Также постоянное воздействие вибрации вызывает развитие тяжелых профессиональных заболеваний – вибрационной болезни и профессиональной тугоухости.

Большая часть известных процессов в технике являются колебательными, поэтому вибрация определяется как механические случайные колебания точки или объекта в пределах устойчивого состояния [1]. Вибрационные колебания изменяются во времени по закону синуса и

описываются параметрами вибрации: виброскоростью, виброускорением и виброперемещением.

Разброс амплитуды перемещений и скоростей на высоких частотах меньше амплитуды ускорений, поэтому если необходимо проанализировать вибрацию в широком частотном диапазоне, то в качестве параметра лучше использовать виброускорение, а если необходимо исследовать только область низкочастотных вибраций, то предпочтительнее выбирать виброперемещение [2].

В нефтяной и газовой промышленности примерами источников вибрации являются насосные и компрессорные станции. Данное оборудование вибрирует при выполнении своего функционального назначения, однако величина колебаний и их параметров может меняться из-за плохо установленной и раскрепленной фундаментной рамы; дефектов в подшипниках скольжения или в зубозацеплении редуктора и соединительной муфты; проблем, связанных со смазкой; неисправности приводного электродвигателя; плохой центровки валов и др. [3, 4]. В таком случае повышенные вибрации будут передаваться человеку через пол.

В соответствии с ГОСТ 24246-80, ГОСТ 12.4.024-76 по способу передачи человеку вибрации бывают общие и локальные. Под общей вибрацией понимают воздействие механических колебаний на все тело рабочего. Локальная же вибрация воздействует на ограниченные участки тела, в частности на руки и ступни ног.

В рамках данной работы авторами рассматривается локальная вибрация, в целях защиты от которой используются перчатки и обувь со специальной подкладкой из вибродемпфирующих материалов.

В соответствии с ГОСТ 12.4.024-76 в средствах индивидуальной защиты используются упругодемпфирующие материалы или конструкции для исключения контакта с вибрирующей поверхностью.

В настоящий момент имеется ряд патентов [5–12], описывающих возможные способы изготовления обуви, большая часть из которых посвящена созданию упругих конструкций внутри подошвы. В качестве упругодемпфирующих вставок в средствах индивидуальной защиты чаще всего используют силикон и полиуретан разных марок. Данные материалы могут использоваться как жидкие, так и вспененные. В опубликованных работах в основном используются вспененные материалы, способствующие гашению вибраций за счет наличия специальным способом

РИСУНОК 1. Блок-схема испытательной установки для определения коэффициента передачи



созданных пор. Информации о применении однородных (невспененных) материалов с армированием или без него в свободном доступе не найдено.

Таким образом, цель данной работы – исследовать вибрационные характеристики однородных (невспененных) материалов с армированием и без него и предложить новую конструкцию виброгасящей подошвы как альтернативный способ защиты человека от опасного производственного влияния вибрации.

В качестве материалов для исследования выбраны силикон, полиуретан и никелид титана. Данные материалы отличаются высокой прочностью, обладают хорошими эластичными и демпфирующими свойствами.

Силикон представляет собой кремнийорганические демпфирующие жидкости, представляющие собой смеси полиэтилсилоксанов [13].

Полиуретан – полимер, полученный путем ступенчатой полимеризации, основан на взаимодействии изоцианатов с гликолями [14].

Никелид титана или нитинол – это сплав титана и никеля в процентном соотношении 50 на 50 %.

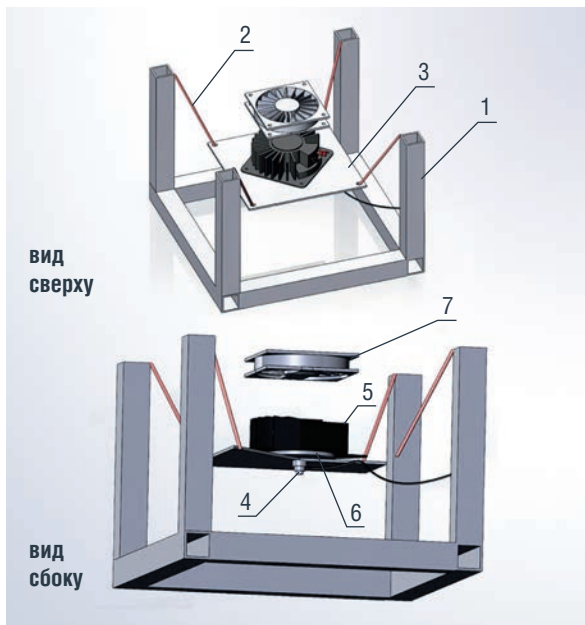
Авторами проведены исследования однородных силикона и полиуретана. Полиуретан представляет собой двухкомпонентную систему из двух жидкообразных составляющих: основа – полиол и отвердитель – изоцианат. После их смешивания в нужных пропорциях полиуретан застывает. Двухкомпонентный силикон состоит из основы (компонента А) и катализатора (компонента Б).

Природа поглощения энергии, подробно описанная в работах В.В. Авдонина [15], А. Нашифа [16], Л. Нильсена [17], объясняется эффектом релаксации, то есть при деформации напряжение постепенно спадает, а энергия рассеивается в виде тепла. Материалы различаются только временем перехода в состояние термодинамического равновесия после снятия нагрузки.

Для оценки виброгашения в соответствии с ГОСТ 12.4.024-76 предлагается схема, представленная на рисунке 1.

Однако в данной схеме необходим испытатель. Для уменьшения влияния человеческого фактора в эксперименте, авторы собрали стенд для оценки виброгасящей способности материалов, представленный на рисунке 2 (а, б).

РИСУНОК 2. Схема стенда для оценки виброгасящей способности материала [1]



Конструкция стенда [1] имеет силовой каркас 1, к которому на виброгасящих стяжках 2 прикреплен столик 3. К столику снизу устанавливается датчик виброметра 4. Сверху столика устанавливается вибродинамик 5. Между столиком и вибродинамиком помещается исследуемый образец 6. Вибродинамик подключается к усилителю. Для охлаждения вибродинамика над ним устанавливается кулер 7.

Таким образом, вибрации передаются только на столик и не передаются на окружающие объекты.

Осциллограф создает периодические колебания различной частоты и передает их на усилитель, от которого в свою очередь питается вибродинамик. Он передает вибрации на столик, виброметром фиксируются значения виброперемещения, виброскорости и виброускорения.

В связи с разработкой виброгасящей обуви для нефтяной и газовой промышленности, исследуемые материалы подвергались колебаниям в диапазоне частоты от 0 до 100 Гц, так как данные значения соответствуют уровню вибрации, при которой работает основная часть нефтегазового оборудования.

По результатам проверки виброгасящей способности двухкомпонентных полиуретана и силикона получены зависимости, представленные на рисунке 3.

По результатам представленных графиков видно, что силикон во всем диапазоне частот имеет меньшие значения виброускорения, виброскорости и виброперемещения, однако следует отметить, что двухкомпонентный полиуретан имеет более высокую твердость (78 по Шору Д), чем силикон (6 по Шору Д).

В соответствии с рисунком 4 силикон, снижая виброскорость, одновременно переводит частоты в более низкочастотный диапазон и показывает максимальное значение виброскорости при 20 Гц, в то время как полиуретан – при 30 Гц, как и вибростенд, но при этом увеличивает амплитуду виброперемещений.

На основании работ [18, 19] установлено, что применение полимеров для гашения вибраций без

РИСУНОК 3. Изменение виброскорости при разных частотах для полимеров

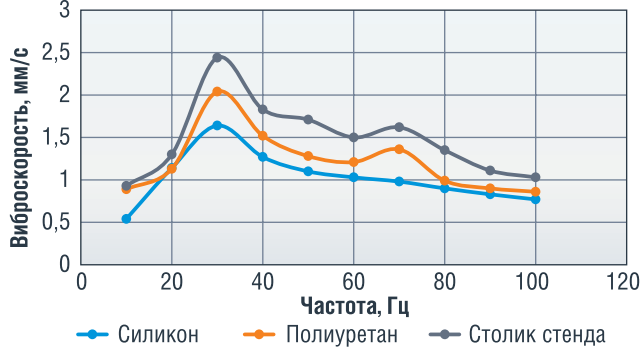


РИСУНОК 4. Изменение виброускорения при разных частотах для полимеров

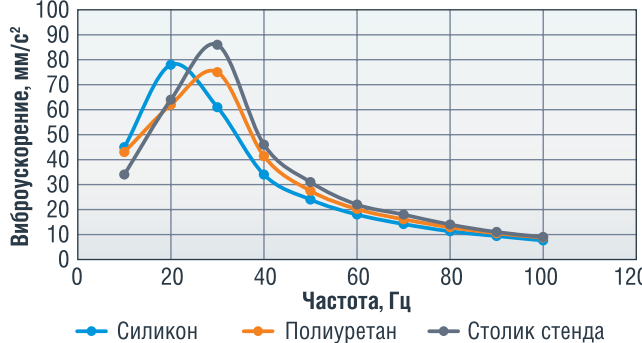
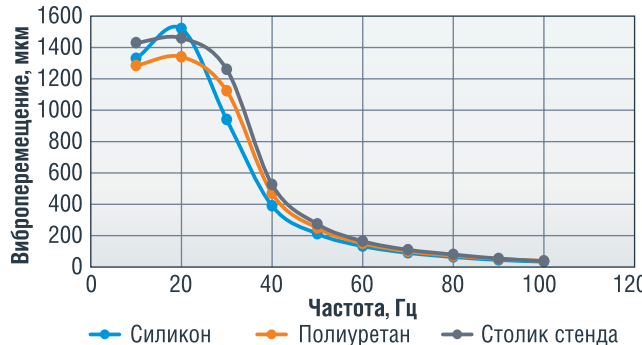


РИСУНОК 5. Изменение виброперемещения при разных частотах для полимеров



наполнителей малоэффективно. Поэтому авторами предложено создать систему, состоящую из силикона и проволоки никелида титана.

Никелид титана известен своей высокодемпфирующей способностью за счет наличия термоупругого мартенсита. Способ укладки выбран в виде «спирали» и «зигзага».

Результаты испытаний приведены на рисунках 6–8.

Анализ вышеприведенных графиков показал, что армирование спиралью привело к увеличению виброускорения, но при этом снизило виброперемещение более чем в два раза и виброскорость на величину примерно 10 мм/с. Это позволяет сделать предположение об эффективном применении данного типа армирования силикона для создания вибродемпфирующих вставок в обуви рабочего персонала.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

РИСУНОК 6. Изменение виброскорости при разных частотах для полимеров с армированием

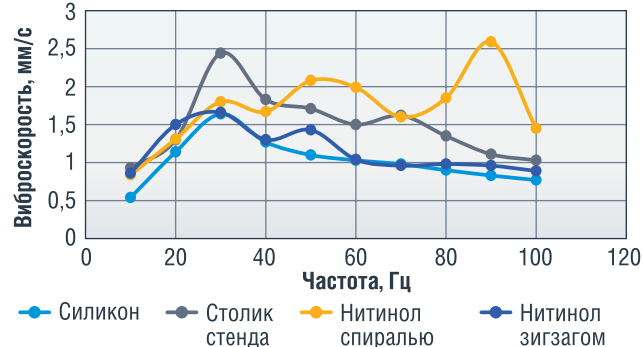


РИСУНОК 7. Изменение виброускорения при разных частотах для полимеров с армированием

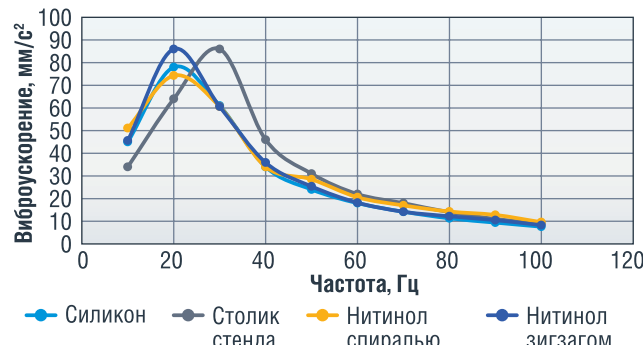


РИСУНОК 8. Изменение виброперемещения при разных частотах для полимеров с армированием



1. Для обеспечения безопасной работы сотрудников предприятий нефтегазового комплекса необходимо уменьшение параметров вибрации.
2. Применение стенда для оценки виброгасящей способности материалов наиболее предпочтительно с точки зрения получения объективных результатов в широком диапазоне частот вибраций.
3. Применение невспененных материалов возможно при частотах более 50 Гц, где они показали высокую эффективность.
4. Применение невспененного силикона приводит к снижению виброускорения на 8 м/с², но и одновременно переводит частоты в более низкочастотный диапазон 20 Гц, что приводит к увеличению амплитуды виброперемещения на 60 мкм.
5. Применение армирования позволяет значительно изменить параметры вибрации, однако большое значение имеет способ укладки армирующего слоя.

Наиболее оптимальным с точки зрения изменения параметров вибрации является укладка в виде спирали, которая приводит к снижению виброперемещения более чем в два раза и виброускорения на 10 м/с².

6. Применение армированного силикона для создания виброгасящей обуви как средства индивидуальной защиты позволяет качественнее защитить персонал, задействованный в обслуживании оборудования нефтегазового комплекса, от воздействия вибрации и снизить риск возникновения профессиональных заболеваний. ●

Литература

1. Использование демпфирующих свойств материалов для изготовления нефтегазового оборудования [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Ю.С. Дубинов, А.К. Прыгаев, О.Б. Дубинова, А.К. Кузнецов. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021.
2. Комкин А.И. Вибрация. Воздействие, нормирование, защита // «Безопасность Жизнедеятельности». – 2004. – № 5. – С. 1–16.
3. Кумар Б.К., Ботханов Е.К. Эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учебное пособие. – Алматы: КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, 2015. – 392 с.
4. Васильев А.В. Снижение низкочастотного звука и вибрации энергетических установок: дис. ... доктор. техн. наук: 01.04.06. – Санкт-Петербург: 2006. – 298 с.
5. Пат. 117780 U1 Рос. Федерация, МПК А41D 13/00. Виброзащитная обувь с пневматическими демпфирующими устройствами / Э.Н. Аюбов, Д.З. Прищепов, Кочетов О.С. [и др.]; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий). – № 2012103029/12; заявл. 30.01.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.
6. Пат. № 45598 U1 Рос. Федерация, МПК А43В 7/32. Виброзащитная обувь / А.Н. Айглов, К.А. Айглов; патентообладатели: А.Н. Айглов, К.А. Айглов. – № 2004126000/22; заявл. 30.08.2004; опубл. 27.05.2005, Бюл. № 15.
7. Пат. № 2541304 C1 Рос. Федерация, МПК А43В 1/00. Обувь спасателя для работы в условиях низких температур с дополнительным сейсмическим воздействием / О.С. Кочетов, А.Ю. Тараканов; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий). – № 2013158016/12; заявл. 26.12.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4.
8. Пат. № 117787 U1 Рос. Федерация, МПК А43В 3/00. Виброзащитная обувь / Э.Н. Аюбов, Д.З. Прищепов, О.С. Кочетов [и др.]; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий). – № 2012103027/12; заявл. 30.01.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.
9. Пат. № 126575 U1 Рос. Федерация, МПК А43В 3/00. Виброзащитная обувь с противоскользким слоем / Э.Н. Аюбов, Д.З. Прищепов, О.С. Кочетов [и др.]; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий). – № 2012128066/12; заявл. 05.07.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
10. Пат. № 2441563 C1 Рос. Федерация, МПК А43В 7/32. Виброзащитная обувь типа кочетар / О.С. Кочетов, М.О. Стареева; патентообладатели Кочетов О.С. Стареева М.О. – № 2011103845/12; заявл. 03.02.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.
11. Пат. № 2450781 C1 Рос. Федерация, МПК А41D 13/00. Виброзащитная обувь с сетчатым упругим элементом / О.С. Кочетов, М.О. Стареева; патентообладатели Кочетов О.С. Стареева М.О. – № 2011103844/12; заявл. 03.02.2011; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14.
12. Пат. № 2438541 C2 Рос. Федерация, МПК А43В 7/32. Виброзащитная обувь / О.С. Кочетов, М.О. Стареева; патентообладатели Кочетов О.С. Стареева М.О. – № 2010112739/12; заявл. 02.04.2010; опубл. 10.01.2010, Бюл. № 14.
13. Бажант В. Силиконы – кремнийорганические соединения, их получение, свойства и применение. – М.: Госхимиздат, 1960. – 700 с.
14. Саундерс Дж. Х., Фриш К.К. Химия полиуретанов. – М.: Химия, 1968. – 470 с.
15. Авдонин В.В. Вибропоглощающие композиционные покрытия: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Васильев Андрей Витальевич. – Саранск, 2015. – 123 с.
16. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний – М.: Мир, 1988. – 488 с.
17. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. – М.: Химия, 1978. – 301 с.
18. Сагаляев Г.В. Общие технические требования к наполнителям // Наполнители полимерных материалов. – М.: МДНТТ им. Ф. Э. Дзержинского, 1983. – С. 57–64.
19. Michalczyk, K. Analysis of the influence of elastomeric layer on helical spring stresses in longitudinal resonance vibration conditions // Archives of civil and mechanical engineering. – 2013. – Vol. 13. – P. 21–26.

KEYWORDS: vibration, vibration damping material, personal protective equipment, vibration damping, vibration acceleration, vibration velocity, vibration displacement.

ОБЗОР ПРОБЛЕМ КРЕПЛЕНИЯ СКВАЖИН и применяемых тампонажных материалов

НАСОСЫ ДОЛЖНЫ ЛЕГКО ПРОКАЧИВАТЬ ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ В ТЕЧЕНИЕ ВСЕГО ПРОЦЕССА ЕГО ЗАКАЧКИ. СМЕСИ ДОЛЖНЫ БЫСТРО ЗАГУСТЕВАТЬ И ТВЕРДЕТЬ ПОСЛЕ ЗАКАЧКИ В СКВАЖИНУ, ПРОБИВАТЬСЯ В КАЖДЫЕ ПОРЫ И ТРЕЩИНЫ, НО НЕ РАСТЕКАТЬСЯ, БЫТЬ СТАБИЛЬНЫМИ И УСТОЙЧИВЫМИ, ИМЕТЬ ХОРОШЕЕ СЦЕПЛЕНИЕ С ОБСАДНЫМИ ТРУБАМИ И ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ, ПОДДАВАТЬСЯ ОБРАБОТКЕ РЕАГЕНТАМИ, НЕ РАСТВОРЯТЬСЯ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ. ОНИ ТАКЖЕ НЕ ДОЛЖНЫ РАСТВОРЯТЬ ПОРОДЫ, СЛАГАЮЩИЕ СТЕНКИ СКВАЖИН, БЫТЬ УСТОЙЧИВЫМИ К АГРЕССИИ ПЛАСТОВЫХ ВОД, ТЕРМОСТОЙКИМИ, ЛЕГКО РАЗБУРИВАТЬСЯ И СМЫВАТЬСЯ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА, А ТАКЖЕ НЕ БЫТЬ ТОКСИЧНЫМИ. В СТАТЬЕ ПРЕДСТАВЛЕН АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С ЦЕМЕНТИРОВАНИЕМ СКВАЖИН, А ИМЕННО: ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН В ТОЛЩАХ СОЛЕЙ ПЛАСТИЧНЫХ ГЛИН, ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН С СОХРАНЕНИЕМ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА, А ТАКЖЕ ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН В ДРУГИХ СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ – ПЛАСТЫ С ВЫСОКИМ ИЛИ НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ И ТЕМПЕРАТУРОЙ, АГРЕССИВНЫЕ ПЛАСТОВЫЕ ЖИДКОСТИ. КРОМЕ ТОГО, ПРИВЕДЕНО СРАВНЕНИЕ ДОБАВОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА, А ТАКЖЕ ОСНОВНЫХ СОСТАВОВ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

PUMPS SHOULD EASILY PUMP CEMENT SLURRIES THROUGHOUT THE ENTIRE INJECTION PROCESS. MIXTURES MUST THICKEN AND HARDEN QUICKLY AFTER INJECTION INTO THE WELL, PENETRATE EVERY PORE AND FRACTURE BUT NOT FLOW, BE SUSTAINABLE AND STABLE, HAVE GOOD ADHESION TO CASING AND ROCK, BE REAGENT-TREATABLE, AND NOT DISSOLVE IN FORMATION WATER. THEY SHOULD ALSO NOT DISSOLVE THE ROCKS COMPOSING THE WELL WALLS, BE RESISTANT TO FORMATION WATER AGGRESSION AND NOT BE TOXIC, EASILY WASHABLE FROM PROCESS EQUIPMENT AND TOOLS, HEAT RESISTANT, EASY TO DRILL. THE ARTICLE PRESENTS AN ANALYSIS OF THE PROBLEMS ASSOCIATED WITH CEMENTING WELLS, NAMELY: CEMENTING WELLS IN PLASTIC CLAY SALT STRATA, CEMENTING HORIZONTAL AND DIRECTIONAL WELLS WHILE MAINTAINING SEDIMENTATION STABILITY OF THE CEMENT SLURRY, AS WELL AS CEMENTING WELLS IN OTHER DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS: FORMATIONS WITH HIGH OR LOW PRESSURE AND TEMPERATURE, AGGRESSIVE FORMATION FLUIDS. IN ADDITION, A COMPARISON IS PROVIDED OF ADDITIVES USED TO IMPROVE THE QUALITY OF CEMENT SLURRY, AS WELL AS THE MAIN COMPOSITIONS OF LIGHTWEIGHT CEMENT SLURRIES

Ключевые слова: заканчивание скважин, цементирование, крепление скважин, облегчающие добавки, осложненные условия, тампонажный раствор.

Нуцкова Мария Владимировна
доцент кафедры бурения скважин,
к.т.н.

Алхаззаа Мохаммад
кафедра бурения скважин,
аспирант

Санкт-Петербургский Горный
Университет

Одним из важных этапов строительства нефтяных и газовых скважин является крепление. Цементирующие работы имеют особое значение и ценность, поскольку ошибки в их выполнении могут снизить успех более ранних этапов строительства скважин.

Основные геологические характеристики, осложняющие бурение [1]:

- наличие зон проницаемых горных пород в интервалах установки кондуктора или технических обсадных колонн, где могут происходить поглощения тампонажных растворов при цементировании скважин;
- присутствие в пластовых флюидах кислых компонентов (сероводород, углекислый газ),

вредных для буровых растворов, цемента и оборудования;

- наличие зон высоких пластовых давлений;
- наличие зон мощных хемогенных отложений, деформирующихся под влиянием высокого горного давления;
- наличие в разрезах мощных толщ неустойчивых обваливающихся и осыпавшихся пород;
- наличие агрессивных, высокоминерализованных рассолов под высоким давлением, находящихся на большой глубине;
- наличие зон высоких температур, требующих использования термостойких промывочных жидкостей, цементных растворов и резиновых уплотняющих элементов.

Поглощения тампонажного раствора

Использование быстросхватывающихся тампонажных составов, добавление в цементный раствор набухающих агентов и многие другие решения были предложены учеными, работающими над этой темой [3–6]. Однако все эти достижения требуют дополнительных поставок химикатов и оборудования, которые не всегда могут быть доставлены на месторождение оперативно. Для повышения эффективности изоляционных работ важно создание составов цементных смесей и технических основ для их оперативного использования.

Ползучесть солевых пластов

Присутствие солевых пластов, покрывающих углеводородные пласты, является частым явлением на многих месторождениях по всему миру, и поэтому для эффективной эксплуатации углеводородных пластов требуется успешное прохождение через эти солевые пласты. Однако, исходя из отраслевой практики, бурение и цементирование скважин в этих слоях обычно сложно и дорого. Соли ведут себя пластично в условиях высокого давления и высоких температур, цементный раствор, как раствор на водной основе, взаимодействует с соляной породой, в результате чего свойства цемента изменяются, что,

следовательно, может поставить под угрозу качество крепления скважины в интервалах солей. Чтобы избежать потенциальных рисков разрушения цемента и смятия обсадной колонны под нагрузкой от соляной толщи, в кольцевом пространстве между стенками скважины и обсадной колонной исследователи рекомендуют использовать однородный цементный состав с прочностными характеристиками, обеспечивающими целостность цементного камня [7].

Ползучесть и ее влияние на целостность ствола скважины были предметом нескольких исследований. Ванг Кс. (Wang X.) и др. [8] использовали геомеханическую модель обсадной колонны, цементного кольца и соляной породы для описания долговременного реологического поведения соляной породы и цементной оболочки под действием напряжений в статике.

В работе Яндхяла С. (Jandhyala S.) и др. [9] конечно-элементный анализ и структурная механика используются для изучения влияния ползучести солей на напряжения внутри цементной оболочки на различных этапах срока службы скважины, включая бурение последующих интервалов, их цементирование, ожидание затвердевания цемента, заканчивание, вторичное вскрытие и эксплуатацию. Они пришли к выводу, что добавление эластомеров в цементную композицию может помочь выдерживать приложенные нагрузки.

Табатабаи Моради С.С. (Tabatabaei Moradi S.S.) и Николаев Н.И. [10] в своих исследованиях показали разработку цементной композиции, которая отвечает требованиям цементирования скважин в солевых пластах за счет увеличения прочности сцепления на границе раздела «цемент-соль», где прочность сцепления (адгезия) является одним из факторов, который значительно влияет на общее качество крепления скважины.

Ислам С. (Islam S.) и др. [11] изучали влияние морской воды с повышенными концентрациями соли на образцы из двух марок цемента, подвергавшихся воздействию моделируемой морской среды в течение года, и показали, что

цемент, подвергшийся воздействию морской воды с различными концентрациями соли, терял прочность на сжатие.

Теодориу Ц. (Teodoriu C.) и Асамба П. (Asamba P.) [12] изучали влияние NaCl в качестве добавки на цемент класса G по API. Они показали изменения некоторых основных свойств цемента, включая время загустевания цементного раствора, прочность на сжатие установленного цемента, динамический модуль упругости и проницаемость при изменении концентрации соли. На основании экспериментальных испытаний авторы пришли к выводу, что NaCl, как доступная и экономичная добавка, оказывает некоторое положительное влияние на характеристики тампонажного цемента.

В работе Лаго Ф.Р. (Lago F.R.) и др. [13] изучалось влияние NaCl на процесс гидратации портландцемента класса G в первые 24 часа гидратации цемента. Авторы пришли к выводу, что присутствие NaCl до 10% ускоряет процесс гидратации и увеличивает гидратацию C3S (трехкальциевый силикат) и C3A (трехкальциевый алюминат), в то время как концентрация соли в 20% приводит к замедленной гидратации.

Одним из моментов, который необходимо учесть при исследовании тампонажного цемента, является стабильность раствора, его устойчивость к эрозии, а также горно-геологические условия, для которых он будет использоваться. Установлено, что использование тампонажных растворов с более низким водоцементным отношением является оптимальным вариантом для повышения прочности и герметичности цементного камня [14]. На подвижность тампонажного раствора отрицательно влияет снижение водоцементного отношения, что отрицательно сказывается на порядке закачки тампонажного раствора в скважину.

Горизонтальные и наклонные скважины

С целью обеспечения доставки тампонажных растворов в горизонтальный участок скважины рассматривался вопрос увеличения растекаемости [15], когда в смесь вводятся пластифицирующие

добавки, относящиеся к поверхностно-активным веществам, такие как высокомолекулярный полимер поливинилпирролидон (ПВП). Авторы пришли к выводу, что, поскольку ПВП является ингибитором схватывания, добавление его в цементный раствор задерживает схватывание на 6 часов и продлевает его на 8 часов. Помимо сохранения качеств тампонажного раствора в случае внеплановой остановки, это позволяет закачивать раствор на значительные глубины в процессе цементирования скважины.

Кожевников Е.В. и др. (2005) представили в своем патенте (патент РФ № 2588066) новую рецептуру тампонажных растворов, которая может быть использована для крепления скважин и боковых стволов с горизонтальными и наклонными участками в условиях нормальных температур. Технический результат – повышение качества крепления скважин и боковых стволов. Тампонажный состав в качестве алюминатного вяжущего содержит глиноземистый цемент и дополнительно содержит кварцевый песок, негашеную известь, суперпластификатор С-3, реагент-стабилизатор и понизитель водоотдачи – 1%-ный раствор гидроксиэтилцеллюлозы, пеногаситель Пента-465 и воду.

В том же контексте авторы статьи (Моради С.Ш.Т., и Николаев Н.И., 2017) [15] представили исследование по разработке цементного раствора, используемого для крепления наклонно-направленных скважин. В своем исследовании они пришли к выводу, что использование поливинилового спирта (ПВС) и каолинита обеспечивает седиментационную устойчивость создаваемых тампонажных растворов. Составы утяжеленных тампонажных растворов обеспечивают седиментационную устойчивость системы при сохранении необходимых основных технических показателей.

Крепление в условиях высоких давлений и температур

Заканчивание скважин в сложных условиях (ВДВТ) усугубляет проблему некачественного цемента, и с каждым годом количество

РИСУНОК 1. Результаты исследования прочностных характеристик при нормальных условиях и при условиях высоких давлений и температур [15]



проектов увеличивается на новых месторождениях с условиями (ВДВТ). В этих условиях сложные технические моменты при цементировании скважин могут накладывать дополнительные ограничения на качество тампонажного раствора и тампонажный камень [15].

Группа исследователей (Моради С.Ш.Т и др., 2017) представила сравнение прочностных характеристик двух составов цементного раствора при нормальных условиях давления и температуры и в условиях ВДВТ [15], результаты показаны на рисунке 1.

Из рис. 1 можно заметить, что добавление кварца при повышении давления и температуры приводит к росту прочности. Необходимые условия для превращения тоберморита в ксонотлит могут быть достигнуты за счет включения кварца в состав исходных материалов. Также, чем выше плотность упаковки, тем выше прочность образующегося цементного камня [15].

Цементирование скважин в интервалах вечной мерзлоты

Смятие обсадных труб в интервале мерзлых горных пород (МГП) при длительном простое скважин до их включения является одной из наиболее серьезных проблем с точки зрения последствий. Из-за этого часто случаются заколонные проявления газа, наносящие серьезный вред местной экосистеме. Только в Западной Сибири зафиксировано 38 скважин с обрушением обсадной колонны, из них 20 требуют ликвидации.

Как и в случае со скважинами с высокими температурами, исследователи работали над поиском наилучшего состава тампонажного раствора для скважин с вечной мерзлотой, принимая во внимание, что для качественного цементирования в зоне вечной мерзлоты необходимы быстротвердеющие, безусадочные, устойчивые к седиментации цементы, образующие морозостойкий камень и обладающие прочной адгезией к обсадным трубам, а также прочный камень, выдерживающий циклически изменяющиеся температуры.

В своей диссертации Кузнецов В.Г. представил исследование по разработке мероприятий по повышению долговечности цементации скважин в криолитозоне. Составлены и дополнены технические условия к тампонажному материалу, предназначенному для условий крепления обсадных колонн в криолитозоне на основании проведенных аналитических и экспериментальных исследований, а именно:

- коэффициент водоотделения не более 2% как для цемента нормальной плотности, так и облегченного;
- величина предела прочности при изгибе после ОЗЦ раствора составляет не менее 1,5 МПа для нормальной плотности и 0,5 МПа для облегченного;
- сроки схватывания при температуре 0–5 °С: начало не ранее 2 ч 00 мин, а конец не позднее 10 ч 00 мин;
- модуль упругости тампонажного камня после 7 суток твердения при температуре 0–5 °С, не менее 1000 МПа;

- величина растекаемости цементного раствора – в пределах 0,16–0,22 м;
- усадка тампонажного камня 0%.

Цементирование скважин в интервалах аномально низких пластовых давлений (АНПД), часто имеющих место в условиях вечной мерзлоты, приводит к поглощениям и загрязнению пласта фильтратом и твердой фазой, что приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств пласта на забое скважины, что считается хронической проблемой при цементировании скважин в регионах Западной и Восточной Сибири. Кроме того, часто имеет место недоподъем цементного раствора, что приводит к проблемам в незацементированном участке ствола скважины [16–17].

При цементировании скважин с АНПД нередко происходит плохое цементирование эксплуатационных колонн в интервале продуктивного пласта, что способствует межпластовым перетокам флюидов. Кроме того, поглощение высокоплотного тампонажного раствора в пласт и его недоподнятие до необходимого уровня по затрубному

пространству вызывается и сильным перепадом давления, возникающим в скважине при закачке.

В связи с этим целесообразными являются исследования по созданию новых легких цементных составов с улучшенными техническими характеристиками.

Удельный вес составных частей, их пропорции в смеси, водоцементное отношение и плотность жидкости затворения – все это влияет на плотность тампонажных растворов. На рисунке 2 представлены результаты расчетов по определению плотности тампонажного раствора с использованием ПЦТ I-G и нескольких видов облегчающих добавок [18].

Разрабатываемый тампонажный состав должен обеспечивать формирование тампонажного камня, обладает высокой прочностью, хорошим сцеплением с породой и обсадной колонной и низкой проницаемостью. Одним из методов решения этой проблемы является использование расширяющих добавок в рецептурах цемента. Оксидное расширение больше всего

подходит для забойных условий, поскольку оно обеспечивает максимальное расширение при самой низкой концентрации добавки. В качестве добавки для повышения прочности на сжатие и изгиб была предложена концентрация наноструктур на основе диоксида кремния (микрокремнезем) [19].

В статье (Николаев Н.И., Леушева Е.Л., 2019) [20] авторы предложили несколько видов добавок, которые можно использовать в цементных растворах низкой плотности для строительства нефтяных и газовых скважин. Они пришли к выводу, что наиболее частым способом получения облегченных тампонажных растворов является замена части вяжущего добавками, имеющими более высокую удельную поверхность и меньшую плотность. Они оценили возможность использования низкоплотных добавок в составе тампонажных растворов для различных скважинных условий. При использовании таких материалов плотность раствора снижается не только из-за их низкой плотности, но и, как правило, в результате повышения водоцементного отношения.

РИСУНОК 2. Изменение плотности цементного раствора в зависимости от плотности компонентов (вяжущего и облегчающей добавки) и водотвердого отношения (В/Т) [18]

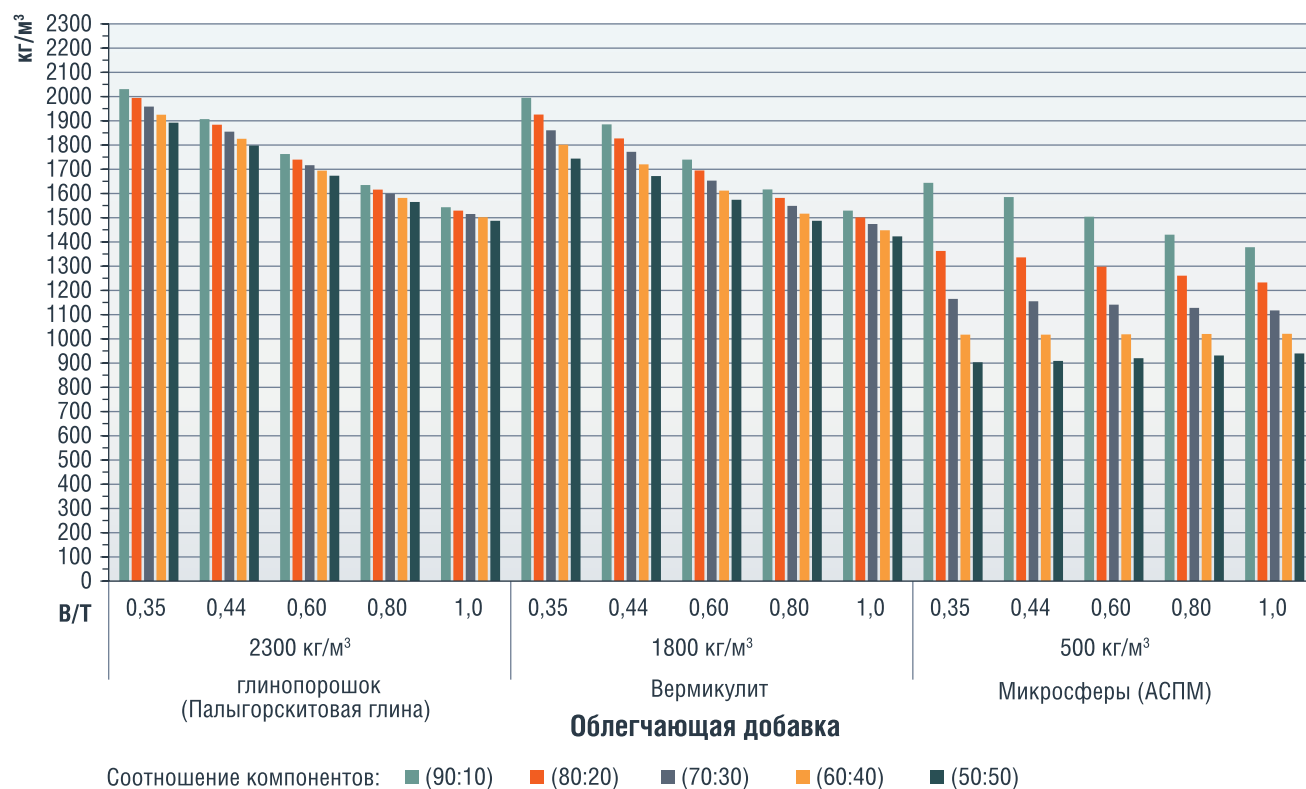


ТАБЛИЦА 1. Преимущества и недостатки добавок к тампонажным растворам, применяемым для крепления скважин в сложных условиях

Добавка	Преимущества	Недостатки
Глина [20]	Природные материалы, широко распространены и имеют различные химические составы и условия применения	Избыток добавок приводит к тому, что цементный камень теряет прочность и становится более газопроницаемым
Кремнеземистые добавки [20]	Повышенная устойчивость к суффоизонной и сульфатной агрессивности, пониженное водоотделение	Прочность цементного камня снижается при низких и отрицательных температурах, подвержены полиминеральной и сероводородной коррозии
Аэрирование [20]	Применяется для борьбы с катастрофическими поглощениями, предотвращения оттаивания мерзлых пород	Необходимость использования специального оборудования, может иметь место открытая пористость
Микросферы [20]	Плотность ниже 1000 кг/м³, повышенная стойкость к агрессивным средам, повышенная прочность по сравнению с цементно-глинистыми тампонажными и некоторыми аэрированными смесями	Удорожание состава, «всплывание» микросфер при остановке циркуляции, как следствие – необходимость ввода специальных удерживающих добавок
CaO от 8 до 10 % [17]	Увеличивает прочность цемента и время схватывания	Криолитозона отрицательно влияет на процессы гидратации цементного материала
Микросилика (10 %) [17]	На 35–40 % большая прочность на сжатие, пониженная проницаемость	Низкие показатели подвижности, приводящие к необходимости ввода пластифицирующих добавок
CaCl ₂ 4 % [17]	Ускорение сроков схватывания, повышение устойчивости цементного камня к отрицательным температурам	Высокая скорость тепловыделения, что ограничивает применение в условиях мерзлых пород, снижение стойкости к сульфатной агрессии

В таблице 1 представлены данные о преимуществах и недостатках использования добавок к тампонажным растворам, применяемым для крепления скважин в сложных условиях.

В таблице 2 показаны составы, используемые для приготовления облегченного тампонажного раствора с целью повышения долговечности крепи в сложных геокриологических условиях.

Заключение

Данный теоретический обзор подтверждает наличие серьезных проблем в области тампонажных растворов, применяемых для цементирования скважин, которые несут не узкий локальный характер, но широко распространены на многих нефтегазовых месторождениях мира в различных горно-геологических условиях.

В заключение можно отметить, что процесс цементирования скважин, несмотря на ранее проведенные исследования, все еще нуждается в дальнейшем развитии, в том числе:

- в поиске новых рецептур тампонажных растворов для конкретных горно-геологических условий;
- повышении качества цементирования скважин для обеспечения их эффективной эксплуатации без осложнений и аварий, особенно когда эти скважины строятся в сложных горно-геологических условиях (наклонно-направленные, в том числе с горизонтальным окончанием, скважины, солевые толщи, интервалы с агрессивными пластовыми флюидами, интервалы залегания многолетнемерзлых пород, толщи перемежающихся глин и солей, сложные термобарические условия);
- разработке экономически целесообразных и экологически безопасных тампонажных растворов.

Таким образом, разработка технологически обоснованных, экономически целесообразных и экологически безопасных тампонажных растворов является

актуальной задачей, а для крепления интервалов пластичных горных пород задача поиска эффективных тампонажных растворов сопряжена с особенностями геомеханической устойчивости массива. ●

Литература

1. Мелехин А.А. Обоснование и разработка тампонажных смесей для цементирования обсадных колонн в высокопроницаемых горных породах. Diss. Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2011.

2. Яников М.Х. [и др.]. Совершенствование технологии строительства скважин на подсолевые отложения // Деловой журнал Neftegaz.RU 3–4 (2014): 26–31.

3. Zimina D.A. [и др.]. Research of technological properties of cement slurries based on cements with expanding additives, portland and magnesia cement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 666. № 1. 2019.

4. Kuchin V. [и др.]. Isolation through a viscoelastic surfactant of a fracable hydrocarbon-containing formation // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1478. № 1. 2020.

5. Cui W. [и др.]. Washout resistance evaluation of fast-setting cement-based grouts considering time-varying viscosity using CFD simulation // Construction and Building Materials 242. 2020. 117959.

6. PEI Q.T. [и др.]. Grouting diffusion model of quick setting slurry in dip crack rock masses // Journal of Yangtze River Scientific Research Institute 36.12. 2019. С. 83.

ТАБЛИЦА 2. Составы для приготовления облегченного тампонажного раствора, применяемого в сложных геокриологических условиях

Название раствора	Состав, мас.%	Технический результат
Расширяющийся тампонажный раствор (патент РФ № 2204690)	• портландцемент тампонажный – 45,5–49,6 • алюмосиликатные микросферы – 6,2–9,1 • молотая гашеная известь – 5,0–8,75 • 4%-ный водный раствор хлористого кальция – остальное	Изменяя свойства тампонажного раствора, а именно: добываясь расширения тампонажного камня при низких положительных и отрицательных температурах на ранней стадии твердения и снижая плотность тампонажного раствора, можно предотвратить кольцевые проявления при строительстве и эксплуатации скважин
Безгипсовый цементно-цеолитовый тампонажный раствор (патент РФ № 2241095)	• цемент ЦНУБ – 47,0–60,0 • клиноптилолит – 6,6–11,8 • вода • цеолит (10–20%) при водосодержании 0,50–0,65 • Na ₂ CO ₃ (3,7–5,0 %) – остальное	За счет улучшения свойств тампонажного цемента, а именно: за счет повышения седиментационной устойчивости раствора, достижения безусадочности и необходимой прочности цементного камня при низких положительных и отрицательных температурах на ранней стадии твердения, снижения плотности цемента, проявления при строительстве и эксплуатации скважин можно предотвратить
Тампонажный раствор (патент RU2726754C1)	• микрокремнезем 8–12 • оксид кальция 5–8 • поли-N-винилпирролидон 0,4–0,6 • вяжущий портландцемент (ПЦТ-1-50) – остальное • содержание 4%-ного водного раствора хлорида кальция в тампонажном растворе обеспечивает соотношение водной смеси к основанию от 0,5 до 0,55	Повышение прочностных и адгезионных свойств образующегося тампонажного раствора при обеспечении его прокачиваемости за счет введения реагента-пластификатора и снижения количества свободной воды в составе
Тампонажный раствор (патент RU2707837C1)	• окись кальция 10–15 • микрокремнезем 12–16 • 4%-ный раствор хлористого кальция для обеспечения В/Т = 0,6–0,7 • тампонажный портландцемент – остальное	Создание состава с улучшенными эксплуатационными характеристиками и повышенной активностью вспенивающего компонента, повышающего адгезионные свойства тампонажного камня, что снижает его деформационные свойства в широком диапазоне температур
Облегченный тампонажный раствор (патент RU2204690C2)	• портландцемент для нефтяных скважин, 45,5–49,6 • алюмосиликатные микросферы 6,2–9,1 • известь гашеная молотая 5,0–8,75 • 4%-ный водный раствор хлорида кальция – остальное	Улучшение характеристик тампонажных растворов, а именно: эффективное расширение тампонажного камня при низких положительных и отрицательных температурах на ранней стадии твердения с одновременным падением плотности тампонажного раствора позволит избежать кольцевого перетока при строительстве и эксплуатации скважин

7. Taheri S.R. [и др.]. Investigation of rock salt layer creep and its effects on casing collapse // International Journal of Mining Science and Technology 30.3. 2020. С. 357–365.

8. Wang X. [и др.]. Loads of casing and cement sheath in the compressive viscoelastic salt rock // Journal of Petroleum Science and Engineering 135. 2015. С. 146–151.

9. Jandhyala S. [и др.]. Cement sheath integrity in fast creeping salts: Effect of well operations // SPE Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition. OnePetro. 2013.

10. Tabatabaee Moradi S.S. [и др.]. Study of Bonding Strength at Salt-cement Interface During Cementation of Salt Layers // International Journal of Engineering 34.2. 2021. С. 581–586.

11. Islam S. [и др.]. Deterioration of Concrete in Ambient Marine Environment // International Journal of Engineering. Transactions B. Applications. Vol. 25. № 4. 2012. С. 289–301.

12. Teodoriu C. [и др.]. Experimental study of salt content effect on class G cement properties with application to well integrity // Journal of Natural Gas Science and Engineering 24. 2015. С. 324–329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2015.03.039>

13. Lago F.R. [и др.]. Evaluation of influence of salt in the cement hydration to oil wells // Materials Research 20. 2018. С. 743–747.

14. Николаев Н.И. [и др.]. Научные основы беструбного крепления геологоразведочных скважин // В сб.: Наука в СПГТИ, вып. 1997. С. 53–59.

15. Моради С.Ш.Т. [и др.]. Тампонажный материал для цементирования наклонно-направленных скважин в условиях высоких давлений и температур // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море 1. 2017. С. 39–43.

16. Николаев Н.И. [и др.]. Результаты исследования зоны контакта «цементный камень – горная порода // Записки горного института 226. 2017. С. 428–434.

17. Becker T.E. [и др.]. Improved rheology model and hydraulics analysis for tomorrow's wellbore fluid applications // SPE Oklahoma City Oil and Gas Symposium/Production and Operations Symposium. SPE, 2003. p. SPE-82415-MS.

18. Овчинников П. [и др.]. Азотонасыщенный тампонажный раствор для цементирования скважин с аномально низкими пластовыми давлениями // Бурение и нефть 3. 2005. С. 12–14.

19. Зими́на Д.А. [и др.]. Разработка тампонажного состава для крепления скважин в криолитозоне development of the cementing slurry for well casingin the cryolitzone // Бурение в осложненных условиях: тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. СПб. 2018. С. 46–47.

20. Николаев Н.И. [и др.]. Тампонажные составы пониженной плотности для цементирования скважин в условиях аномально низких пластовых давлений // Записки Горного института 236. 2019. С. 194–200.

KEYWORDS: completion of wells, cementing, fastening of wells, facilitating additives, complicated conditions, grouting solution.

Роскошь и романтика Мальдив в Siyam World



РЕКЛАМА

Наслаждение безмятежностью в мире красоты и гармонии, которую дарит отдых на островах, — так выглядит мечта об идеальном отпуске. Отель Siyam World создал для своих гостей неповторимую атмосферу, воплощающую эту мечту в реальность.



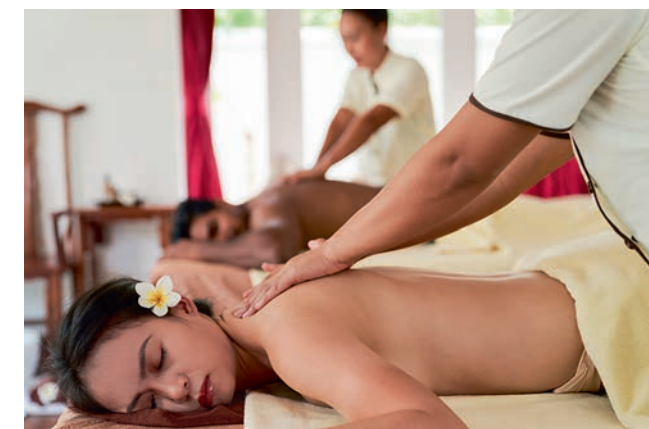
Просторная территория отеля и богатый выбор vill и резиденций позволяет найти идеальный вариант проживания даже самым искушенным гостям. Семь из девятнадцати vill расположены на воде, шесть — на земле и еще шесть — абсолютно невероятные резиденции из коллекции Beach House. Каждая villa оснащена бассейном, а окна обращены на природные мальдивские лагуны и имеют прямой выход к океану.



Beach House Collection в Siyam World — это свой собственный мир со множеством привилегий и приятных сюрпризов, включая сервировку завтрака в бассейне вашей villы. Бесплатный трансфер и мини-бар, услуги дворецкого, ресторан на территории vill коллекции Beach House дарят беззаботный и незабываемый отдых, который дополняют приятные подарки от отеля, такие как дайв-погружение на одном из самых красивых домашних рифов на Мальдивах, обитатели которого сохранились в своей родной среде нетронутыми, или процедуры в спа.

В Veyo Spa, что на местном языке дивехи означает «святилище, вдохновленное природой», по собственным методикам разработаны уникальные процедуры для расслабления и обновления тела и чувств. Косметические средства созданы как на основе классических, так и местных ингредиентов этого экзотического края. Гидромассажная комната, которой можно воспользоваться бесплатно, сауна, стим

и два бассейна с горячей и ледяной водой быстро восстановят силы. Меню спа включает в себя процедуры, собранные со всего мира. Одна из древнейших — хиджама — эффективно выводит токсины, а методы традиционной китайской медицины уравнивают поток жизненной энергии «ци». В спа предложат традиционный балийский или тайский лома-лома массаж с использованием натуральных масел, очищающие и ухаживающие процедуры, методики работы с телом на основе восточных практик йоги и тай-чи. В разнообразном меню можно найти и любимые процедуры и что-то новое.



Курорт расположен на одном из крупнейших мальдивских природных островов. Это единственный остров на Мальдивах, который имеет собственную конюшню-ранчо. Красоту и романтику этого места дополняют прекрасные обитатели — лошади редкой породы марвари, привезенные из Индии. Теперь гости Siyam World могут совершать конные прогулки, исследуя необыкновенную природу и уникальный ландшафт острова верхом, а также запечатлеть эти моменты на фотосессии. Прогулка верхом на восходе или закате солнца станет незабываемым романтическим путешествием.



Отель работает на плане питания WOW! All Inclusive! В пакет входят все рестораны и бары, а также неограниченный ассортимент безалкогольных и алкогольных напитков. Пакет включает не только питание, но и большой список активностей, в том числе самый большой плавучий надувной аквапарк в Индийском океане Siyam Water World.



РЕКЛАМА

MISTRAL

HOTEL & SPA

*Зишкий отдых и Новогодние торжества
в отеле премиум-класса*

Московская область,
г. Истра, д.Рождествено,
Территория Строй Капитал,
здание 3 п.6



+7 (495) 994-40-00
reservation@m-istra-l.ru
www.m-istra-l.ru



Новогодняя ночь — время чудес и исполнения желаний!

По случаю празднования Нового 2024 года, отель M`Istra`L Hotel & SPA предлагает вам незабываемые праздничные каникулы!

Вас ждет роскошный праздничный банкет, зажигательная кавер-группа и обаятельные ведущие, детская новогодняя программа, конкурсы, подарки, любимые хиты в исполнении приглашенной звезды, эффектная фотозона, много-много сюрпризов и, конечно же, яркий и незабываемый праздничный салют!

Рождественские каникулы предлагают игры, забавы и колядки, выступления артистов, рождественский спектакль и многочисленные развлечения на свежем воздухе.

Mistral Hotel&SPA. Уникальный курорт премиум-класса на берегу Истринского водохранилища хорошо известен среди поклонников премиального отдыха. Обладатель международных премий Perfect SPA в номинации «Лучший SPA-курорт в России» и World SPA & Wellness Awards, победитель в категории «Выбор путешественников» сайта Trip Advisor предлагает отдых на любой вкус и любой продолжительности.

Многочисленные рестораны, великолепные завтраки, превосходная Европейская и Азиатская кухня, дополняют удовольствие пребывания в одном из лучших отелей Подмосквья.

Большую часть отеля занимает СПА-комплекс с огромным выбором предложений по уходу, делающий все, чтобы вы получили максимальное удовольствие от его посещения. Wellness & Spa предлагает последние тенденции в области косметологии и высокотехнологичные процедуры, направленные на целостный подход к оздоровлению как классических процедур так и уникальных традиционных церемоний высочайшего качества.

Всегда предлагая большее, M`Istra`l Hotel&SPA обладает захватывающей способностью производить ошеломляющее впечатление. Неудивительно, что это место по-прежнему остается одним из самых любимых и посещаемых.

Mistral Hotel & SPA - отдых с особым статусом!

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

как основа для сохранения природных ландшафтов Арктики

**Митько
Арсений Валерьевич**

президент Арктической
общественной академии
наук,
доцент ВНИИМ
им. Д.И. Менделеева,
доцент СЗИУ РАНХ и ГС,
К.Т.Н.

РОССИЯ ЯВЛЯЕТСЯ САМОЙ БОЛЬШОЙ ПО ТЕРРИТОРИИ СТРАНОЙ В МИРЕ, ВСЛЕДСТВИЕ ЧЕГО ЕЕ ТЕРРИТОРИЯ БОГАТА РАЗНООБРАЗИЕМ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХСЯ НЕОДНОРОДНЫМИ ПО УСЛОВИЯМ РАЗВИТИЯ ЕДИНЫМИ СИСТЕМАМИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ (ВЕРХНИЕ ГОРИЗОНТЫ ЛИТОСФЕРЫ, РЕЛЬЕФ, КЛИМАТ, ВОДЫ, ПОЧВЫ, БИОТА). РАЗНООБРАЗИЕ ЛАНДШАФТОВ ТРЕБУЕТ РАЗНООБРАЗИЯ ПОДХОДОВ К ИХ СОХРАНЕНИЮ

RUSSIA IS THE LARGEST COUNTRY IN THE WORLD BY TERRITORY, AS A RESULT OF WHICH ITS TERRITORY IS RICH IN A VARIETY OF NATURAL LANDSCAPES, CHARACTERIZED BY UNIFIED SYSTEMS OF MAIN COMPONENTS THAT ARE NOT HOMOGENEOUS IN TERMS OF DEVELOPMENT CONDITIONS (UPPER HORIZONS OF THE LITHOSPHERE, RELIEF, CLIMATE, WATER, SOIL, BIOTA). THE DIVERSITY OF LANDSCAPES REQUIRES A VARIETY OF APPROACHES TO THEIR CONSERVATION

Ключевые слова: нормативные акты, Арктика, антропогенное воздействие, охрана окружающей среды, загрязняющие вещества.

Одним из наиболее уникальных, сложных для освоения и изучения является арктический район. Основы государственной политики в Арктике на период до 2035 года включают перечень особенностей арктической зоны, оказывающих влияние на формирование государственной политики в Арктике, в том числе – низкую устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий. Определены национальные интересы в Арктике, в том числе сбережение уникальных экологических систем Арктики, сохранение и обеспечение защиты природной среды Арктики,

ликвидация экологических последствий хозяйственной деятельности в условиях возрастающей экономической активности [1]. Степень антропогенного воздействия определяется действующей системой нормирования качества окружающей среды.

Основные принципы нормирования антропогенного воздействия на окружающую среду, принятые в Российской Федерации, носят ярко выраженный антропоцентристский характер и направлены исключительно на ограничение негативного воздействия до уровней, при которых концентрации загрязнителей не превышали бы предельно допустимых (ПДК), не опасных для человека

значений. Таким образом, цель нормирования загрязнения окружающей среды в России состоит в непосредственной защите здоровья человека, соответственно, применяемые нормативы качества окружающей среды (ПДК, ПДУ) разработаны исходя из потребностей человека и не направлены на решение задачи охраны среды обитания прочих живых организмов.

В то же время наряду с санитарно-гигиеническим нормированием на территории России требуется соблюдение научно обоснованных пределов антропогенных воздействий, исходя из долгосрочных общественных интересов в сохранении количественных и качественных свойств и характеристик природы. Это требование достигается с помощью экологического нормирования, основанного

на применении экологических нормативов в процессе государственного регулирования качества окружающей природной среды.

Основным нормативным правовым актом, регулирующим отношения в области экологического нормирования и стандартизации, является ФЗ «Об охране окружающей среды» [3], глава V «Нормирование в области охраны окружающей среды». Закон определяет систему экологических нормативов и критерии их установления. В соответствии с действующим экологическим законодательством нормативы качества окружающей среды устанавливаются в форме нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, а также вредных микроорганизмов и других биологических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, воды и почву, и нормативов предельно допустимых уровней (ПДУ) вредных физических воздействий на окружающую среду. Такие нормативы служат также для оценки состояния атмосферного воздуха, вод, почв по химическим, физическим и биологическим характеристикам. Установленные в соответствии с требованиями законодательства нормативы качества служат одним из юридических критериев для определения благоприятного состояния окружающей среды.

На сегодняшний день наблюдаются трудности в разработке вопросов экологического нормирования и изучения вопросов влияния, а следовательно, установления реакции «доза-эффект» биологических агентов атмосферного воздуха на иные (кроме человека) организмы, такие как растения, насекомые, животные и пр. Ввиду значительной ограниченности данных о влиянии биологических агентов на объекты природной среды, в настоящее время установление экологических нормативов для регулирования и охраны окружающей среды по показателям, учитывающим биологические свойства, затруднительно. Для определения обоснованных величин экологических нормативов по биологическим свойствам целесообразно провести научно-исследовательские и экспериментальные

работы силами специальных организаций, занимающихся вопросами определения влияния биологических агентов на объекты природной среды, такие как растения и животные.

В связи с тем что в разных источниках предлагаются различные величины ПДК загрязняющих веществ для одного и того же вида растительности и периода осреднения [4], что связано с различными методами и подходами, используемыми разными авторами при определении величин ПДК, требуется верификация и стандартизация таких подходов.

С целью определения численных значений первоочередных экологических нормативов качества атмосферного воздуха (ПДК загрязняющих веществ для растительности), проведен анализ данных, касающихся вопросов изучения отклика растительности на загрязняющие вещества, полученных российскими и зарубежными исследователями [4]. При анализе литературных данных учитывался один из основных принципов, заложенных в основу экологического нормирования, который заключается в использовании ландшафтного подхода [5]. В соответствии с [4], экологический норматив качества атмосферного воздуха предлагается устанавливать для преобладающего вида растительности того или иного типа ландшафта, поскольку именно преобладающий вид определяет жизнеспособность ландшафта, а выпадение из сообщества нескольких не доминирующих элементов не приведет к гибели всего сообщества.

Примером применения экологических нормативов может служить использование величин экологических нормативов качества атмосферного воздуха для одних из самых чувствительных растительных организмов – лишайников. Предлагаемое для них значение ПДКм.р. по диоксиду серы строже ПДКм.р. для других видов растительности и в два раза строже санитарно-гигиенических ПДКм.р. Экологический норматив (ПДКс.г.) для этого же вещества в 7 раз строже, чем действующий санитарно-гигиенический норматив [6]. Поскольку экологический норматив для конкретного ландшафта устанавливается

по преобладающему виду растительности, то при рассмотрении территории как совокупности различных ландшафтов для тундры могут быть использованы значения ПДК загрязняющих веществ, разработанные для лишайников, которые в большинстве типов тундр являются одними из важнейших элементов всего сообщества [6].

Тем не менее в настоящий момент перечень экологических критериев качества окружающей среды практически не включает в себя нормативы, применимые для использования на арктических территориях.

Учитывая хрупкость и неустойчивость к внешним воздействиям арктических экосистем, разработка экологических нормативов для арктических природных ландшафтов имеет ряд специфических особенностей [2]. Это прежде всего необходимость определения биологического вида-индикатора для определения порогового воздействия по конкретному виду воздействия на всю экосистему и определение количественных характеристик воздействия с учетом сопутствующих факторов.

Несмотря на трудности, связанные со значительными временными и финансовыми затратами, необходимыми для определения экологических нормативов негативного воздействия для арктических природных ландшафтов, разработка таких нормативов лежит в основе сохранения и обеспечения защиты природной среды Арктики. ●

Литература

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года.
2. История освоения и охраны природных ресурсов Арктики. Т.Ю. Черникова, О.А. Пасько. г. Томск, Россия.
3. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об охране окружающей среды».
4. Методические рекомендации по определению и введению в действие экологических нормативов в целях охраны атмосферного воздуха, включая перечень таких нормативов (промежуточный отчет). Фонды НИИ Атмосфера. 2001 г., с. 149.
5. Концепция экологического нормирования в Российской Федерации / Материалы выездного совещания МПР России – М. – 2001. – 30 с.
6. К вопросу разработки экологических нормативов качества атмосферного воздуха. В.А. Коплан-Дикс, М.В. Алехова. Сборник научных трудов НИИ Атмосфера. 2001.

KEYWORDS: regulations, Arctic, anthropogenic impact, environmental protection, pollutants.

УДК 504.05: 346

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

в период внешнеэкономических ограничений и технологических трансформаций

В СТАТЬЕ ИССЛЕДУЮТСЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В НОВЫХ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕАЛИЯХ. ПОКАЗАНА ЗНАЧИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ КОРРЕКТИРОВАТЬ ПРИНИМАЕМЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ МЕРЫ В РАМКАХ КАК ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ, ТАК И ОТДЕЛЬНОГО ПРОЕКТА, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИЛИ ИХ ГРУППЫ, ЧТО ОБУСЛОВЛИВАЕТ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА (ГР НГК). ВЫРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНО УПРАВЛЕНЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫСТУПАЕТ ОДНИМ ИЗ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСТРАИВАЕМОЙ ЕДИНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ГР НГК, КОТОРУЮ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВНЕДРЯТЬ В СИСТЕМУ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ, ПЕРИОДИЧЕСКИ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ КОРРЕКТИРОВКУ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ С УЧЕТОМ ПРОИСХОДЯЩИХ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ИЗМЕНЕНИЙ

IN ARTICLE ARE RESEARCHING THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL PROVISIONS OF THE ECONOMICALLY SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS COMPLEX IN NEW MACROECONOMIC REALITIES. ARE SHOWN THE SIGNIFICANCE OF THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF PERFORMANCE INDICATORS, WHICH ALLOWS TO ADJUST THE REGULATORY MEASURES TAKEN WITHIN THE FRAMEWORK OF BOTH THE STATE ENERGY POLICY AND A SEPARATE PROJECT, FIELD OR THEIR GROUP, WHICH MAKES IT ADVISABLE TO DEVELOP A METHODOLOGY FOR STATE REGULATION OF THE OIL AND GAS COMPLEX. THE DEVELOPMENT AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF FUNDAMENTALLY NEW PUBLIC ADMINISTRATION AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS LAID DOWN ON THE PREVIOUS ECONOMIC PLATFORM IS ONE OF THE COMPONENTS OF THE UNIFIED METHODOLOGY FOR STATE REGULATION OF THE OIL AND GAS COMPLEX BEING BUILT, WHICH IS ADVISABLE TO INTRODUCE INTO THE PUBLIC ADMINISTRATION SYSTEM, TO PERIODICALLY ADJUST REGULATORY ACTIONS TAKING INTO ACCOUNT INTERNAL AND EXTERNAL CHANGES

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: государственное регулирование, нефтегазовый комплекс, экономически устойчивое развитие, методология, методология государственного регулирования, национальная безопасность, энергетическая безопасность, технологический суверенитет, Шестой технологический уклад.

**Трофимов
Сергей Евгеньевич**

профессор Академии
военных наук,
эксперт Совета по развитию
цифровой экономики
Совета Федерации ФС РФ,
к.э.н.

ГР НГК учитывает географическое расположение и природно-климатические особенности реализуемых проектов, фактически определяет дальнейший ход развития российской экономики, национальную и энергетическую безопасность государств-партнеров, а также экономическую устойчивость мировой энергетической отрасли. Это предполагает дальнейшее развитие конкуренции, появление новых, более эффективных игроков на национальном нефтегазовом рынке, в особенности при освоении небольших месторождений. К финансированию данных проектов целесообразно привлекать не только средства инвесторов и кредиты, выдаваемые финансовыми организациями, но и государственные финансовые

ресурсы. Именно освоение данного сегмента рынка позволяет выделить новые точки экономически устойчивого развития НГК за счет комплексного рассмотрения отраслевых вопросов, изучения различных позиций участников экономических отношений и возможности применения альтернативных методологических подходов. Конкурентное развитие в целом должно свидетельствовать о повышении эффективности как регулирования отрасли, так и непосредственно функционирования нефтегазовых компаний.

В рамках внешнеэкономического направления важнейшей задачей ГР НГК выступает ликвидация причин и последствий их противодействий со стороны зарубежных государств, что позволяет развивать НГК в

соответствии с естественным ходом его развития, нефтегазохимический и сервисный сегменты, наращивать экспорт продукции глубокой переработки. Прагматизм государственной энергетической политики в данном направлении позволит российскому НГК стать глобальным лидером по ключевым показателям эффективности функционирования и освоения месторождений [5].

Экономически устойчивое развитие отечественного НГК невозможно без понимания специфики исторического развития нефтегазовой отрасли страны, ключевых направлений развития глобального топливно-энергетического сектора. НГК является основой функционирования всей национальной экономики и ВПК, служит инструментом воздействия на глобальные геоэкономические процессы, способствует укреплению геополитических позиций государства. Потребители отечественных углеводородов связаны с Россией технологическими, производственными и инфраструктурными решениями, что в определенной степени позволяет нивелировать возможные риски внезапного изменения политических предпочтений.

долгосрочных экономических и политических приоритетов, а не по чрезвычайно льготным условиям в отношении ряда стран.

Экономически устойчивое развитие ГР НГК связано с ростом внутреннего и внешнего спроса на углеводороды при достаточном объеме проводимых ГРР, что находит отражение в структуре ТЭБ и введении в промышленную эксплуатацию новых нефтегазоносных районов. Прогнозирование глобальных политических процессов и их влияние на мировой энергетический и нефтегазовый рынок позволяет повысить достоверность в принятии регулирующих мер принимая во внимание изменения во взаимодействиях основных поставщиков и потребителей, возможные военные конфликты в отдельных регионах с учетом отражения на объемах, сроках и ценообразовании поставок. Наиболее вероятным представляется прогноз, согласно которому крупнейшие производители (государства и корпорации) и потребители нефтегазовых ресурсов стремятся укрепить собственные позиции на мировом энергетическом рынке в долгосрочном горизонте планирования: снизить экономические риски

Потребители отечественных углеводородов связаны с Россией технологическими, производственными и инфраструктурными решениями, что в определенной степени позволяет нивелировать возможные риски внезапного изменения политических предпочтений

Прагматизм в вопросах предоставления скидок государствам – нефтегазовым партнерам предполагает получение ими определенных преференций и заключение стратегических торгово-экономических и военных соглашений. В перспективе возможно формирование межрегионального нефтегазового рынка с доминирующим положением и правом решающего голоса России по возникающим вопросам; причем ценообразование на данном рынке будет осуществляться исходя из рыночных принципов хозяйствования,

в отношении регионов с политически нестабильной ситуацией, диверсифицировать маршруты поставок в качестве фактора обеспечения экономической устойчивости и энергетической безопасности на стратегическую перспективу, в т.ч. в рамках развития сектора СПГ, осуществлять мероприятия, способствующие улучшению экологической составляющей производственных процессов, учитывать возможное появление новых нефтегазовых районов и центров мировой энергетической политики.

Разработка методологии государственного регулирования нефтегазового комплекса в новых макроэкономических реалиях

На современном этапе развития трансформация российского НГК предполагает постепенное смещение в сторону формирования небольших частных компаний, занимающихся разработкой недр крупных месторождений, а также расширения административных возможностей ведущих отраслевых корпораций, планомерного увеличения их влияния на национальную экономику и изменений в структуре управления, что отражается на взаимодействиях с органами государственной власти. Таким образом, НГК находится в своем непрерывном развитии, обеспечивает энергетическую безопасность и внутренние потребности экономики, формирует глобальный и национальный ТЭБ. Учитывая масштабы территории РФ и различия в условиях добычи углеводородов, бесперебойность поставок для внутреннего потребления является основным показателем эффективности ГР НГК как важнейшего сектора для национальной промышленности. Обеспечение внутреннего и внешнего спроса на углеводороды требует не только увеличения объемов экспорта, но и расширения ассортимента поставок продукции глубокой переработки по различным направлениям сбыта, которая отвечает современным экологическим стандартам. В конечном итоге это способствует росту прибыли предприятий и увеличению поступлений дополнительных нефтегазовых доходов в бюджеты различных уровней [4, 15].

Укрепление экономического потенциала государства предполагает увеличение потребления энергоносителей и экспорта производимой продукции, расширение внутренних и внешнеэкономических связей. Их развал в конце 1980–1990-х гг., по сути, способствовал становлению фундамента для строительства новой российской экономики, ориентированной на

УДК 338.45:622.3(470)

рыночный уклад. Значительное падение уровней добычи и потребления углеводородов, простаивание и постепенное устаревание производственных мощностей, существенный дефицит инвестиций явились фактическим следствием неэффективности ГР всей национальной экономики на примере отдельно взятой отрасли.

Цикличность экономических этапов предполагает необходимость формирования институциональной платформы, обеспечивающей прорывное развитие российского НГК за счет технологий Четвертой промышленной революции и Шестого технологического уклада [3]. Так, на современном этапе целесообразно повысить прозрачность распределения нефтегазовых лицензий и проведения аукционов на право пользования и распоряжения участками недр. Государство заинтересовано в применении наиболее современных технологий при проведении ГРП и добычи углеводородов, способствующих росту извлекаемого углеводородного сырья при уменьшении негативного воздействия на окружающую среду. Дополнительные ГРП в континентальной части страны обеспечивают воспроизводство МСБ, сдерживают бесконтрольное наращивание объемов добычи, которое может подорвать экономическую ситуацию в силу того, что увеличение предложения на мировом рынке является одним из основных факторов падения нефтяных котировок. Данный показатель является одним из критериев эффективности ГР НГК, показывает значимость формирования системы показателей результативности, позволяющей при необходимости корректировать принимаемые регулирующие меры в рамках как государственной энергетической политики, так и отдельного проекта, месторождения или их группы, обуславливает целесообразность разработки методологии ГР НГК. Прирост запасов углеводородов должен происходить за счет большего количества проводимых ГРП, а непосредственно объемы добычи – быть увязаны с внутренним и мировым спросом, учитывать множество факторов воздействия. Устойчивость национального НГК обеспечивается в т.ч. за счет наиболее

продолжительного наращивания объемов прироста запасов извлекаемых углеводородов по сравнению с уровнем их добычи [6].

Ключевыми трендами государственной энергетической политики являются вопросы повышения энергоэффективности национальной экономики, качественного улучшения экологической ситуации в НГК, выраженные в т.ч. в виде согласованных действий государства и предприятий в вопросах охраны окружающей среды, сокращения вредного воздействия при переработке отходов нефтегазовой продукции. Азиатский вектор энергетического развития российской экономики предполагает дальнейшее увеличение спроса и укрепление промышленно-производственного потенциала в регионе, расширение торгово-экономических взаимодействий в нефтегазовой сфере, требует особых государственных подходов с учетом понимания азиатской специфики, менталитета местного населения, разработку альтернативных направлений социально-экономического развития, гибкости и совершенствования в принятии регулирующих и управленческих решений. Так, в условиях санкционной политики требуется привлечение дополнительных иностранных технологий и инвестиций, содействующих реализации проектов и улучшению макроэкономических показателей.

В условиях санкционной политики требуется привлечение дополнительных иностранных технологий и инвестиций, содействующих реализации проектов и улучшению макроэкономических показателей

Разрушение кооперационных связей в НГК, произошедшее в результате отхода от планово-социалистических принципов хозяйствования, сопровождалось не только необходимостью решения внутриэкономических вопросов, но и открыло возможности развития, основанные в т.ч. на колоссальных объемах запасов МСБ, выработке и внедрении принципиально новых управленческих и технологических решений, положенных на предыдущую экономическую платформу [2].

Данные решения могут выступить одним из составных элементов выстраиваемой единой методологии ГР НГК, которую целесообразно последовательно внедрять в систему государственного управления, периодически осуществлять корректировку регулирующих действий с учетом происходящих внутренних и внешних изменений. Подобный подход, в частности, применяется в рамках отдельных НПА, в т.ч. затрагивающих вопросы стратегического планирования и прогнозирования в НГК, а также внутрикорпоративных документах нефтегазовых компаний в части как своей формы, так и сути [11].

Разработка методологии ГР НГК напрямую увязана с проводимой государственной энергетической политикой, спецификой действующих на настоящем этапе отраслевых НПА. Отраженные в документах стратегического развития целевые ориентиры подразумевают заложенное под них финансовое обеспечение, последовательность в осуществлении регулирующих действий, снятие административных и нормативно-правовых барьеров, сохранение отдельных элементов системы планирования, уточнение полномочий ответственных государственных ведомств и исполнителей, что способствует реализации крупномасштабных энергетических проектов, в т.ч. с государственным участием. Накопленный в различные

экономические периоды и циклы опыт в нефтегазовой промышленности в дальнейшем позволяет усовершенствовать механизм ГР НГК и его методологию, обеспечить население и внутренние производства углеводородным продуктом. ГР НГК предполагает оперативное реагирование на возникающие вопросы и устранение возможных рисков, осуществляемое по различным сегментам путем координирования стратегических отраслевых целей

и государственных задач. Данные направления должны не подменять друг друга, а действовать воедино для достижения поставленных ориентиров. Отсутствие внутренних противоречий и претензий между различными субъектами экономической деятельности является фактором, содействующим устойчивому развитию НГК. В частности, на российском рынке население и предприятия должны принимать цены на углеводородную продукцию, понимать составные элементы ее формирования, в т.ч. справедливую прибыль нефтегазовых компаний, устройство, функционирование и направления корректировки механизма ГР НГК. Реализация углеводородов служит инструментом результативной государственной политики на мировом рынке, способствует технологическому обновлению производственных мощностей [11].

Разработка новых технологических решений в целях обеспечения устойчивого развития нефтегазового комплекса

Устойчивое развитие НГК связано с применением инноваций на различных этапах производственного цикла предприятий. В частности, это характерно при повышении эффективности производства и потребления углеводородов: доведение КИН до передовых мировых значений за счет внедрения новейших технологий геологоразведки и добычи, увеличения доли глубокой переработки углеводородов, комплексного освоения удаленных месторождений. Повышение эффективности осуществляется за счет создания нефтегазовых центров, объединяющих производства из различных сегментов экономики. Меры ГР НГК направлены на воспроизводство МСБ в результате усложнения условий добычи, проведение дополнительных ГРП в перспективных районах континентальной части и шельфовых акваторий, совершенствование недропользования и процедур лицензирования; они осуществляются в контексте проводимой крупнейшими

производителями и потребителями энергетической политики [8].

Задачами ГР выступают повышение отраслевой конкуренции в НГК, преодоление технологических разрывов за счет повышения производительности труда, излишней монополизации и задействования административного ресурса; это содействует производству и применению современного оборудования, строительству объектов энергетической инфраструктуры.

Задачами госрегулирования выступают повышение отраслевой конкуренции в НГК, преодоление технологических разрывов за счет повышения производительности труда, излишней монополизации и задействования административного ресурса

Опыт зарубежных стран показал значимость прагматичного инвестирования нефтегазовых доходов, увеличения экспорта продукции глубокой переработки, обеспечивающей дополнительные бюджетные поступления, исполнение государством взятых обязательств [1]. На государственном уровне предусматриваются меры поддержки строительства шельфового и бурового флота с повышенными требованиями к технологической оснащенности и надежности судов.

Санкционная политика позволила перепрофилировать и повысить загрузку промышленных производств, достигшую в 2022 г. наибольших показателей с начала 1990-х гг., приобрести долгосрочные преимущества от комплексной разработки углеводородных запасов, в т.ч. эффективного использования ПНГ [9]. Скоординированные действия государства, предприятий, институтов и научных организаций в вопросах ценообразования на национальном рынке, проведения геологических исследований, повышения результативности принимаемых регулирующих решений связаны с разграничением полномочий и ответственности, усилением конкуренции, созданием крупных нефтегазовых центров. Приоритет национальных интересов над нормами международного права проявляется в т.ч. при

проведении экологических мероприятий. Становление производств нефтегазохимии требует проведения принципиально новой нефтегазовой политики, ориентированной на опережающее развитие, обеспечение национальной и энергетической безопасности.

Развитие цифровых технологий предполагает определенные изменения в структуре производства и потребления энергоносителей, соответствие

мировым экологическим стандартам, повышение эффективности функционирования в различных сегментах НГК. Особое внимание уделяется развитию не только подотраслей системы народного хозяйства, но и внутренних рынков добычи и сбыта; это связано с вопросами энергообеспечения, ликвидации относительного энергодефицита в отдельных регионах страны, находит отражение в общегосударственной экономической повестке. Устойчивость НГК напрямую зависит от состояния национальной экономики, уровня ее энергопотребления, разведанных запасов МСБ, торгово-экономических взаимодействий с государствами-импортерами углеводородов, наличия альтернативных вариантов поставок энергоносителей, состояния производств и инфраструктуры [10, 13].

Особый акцент ставится на повышении эффективности недропользования, позволяющем развиваться не только национальным мейджорам, но и относительно небольшим предприятиям. Комплексный подход ГР НГК в данном направлении предполагает внедрение инструментов ГР, способствующих наиболее на протяжении всего периода ее осуществления. Здесь следует выделить ситуацию

с месторождением Самотлор, когда в результате фактически бесконтрольной добычи произошел ее подрыв, резкое падение дебитов скважин, ухудшение качественных и количественных показателей разработки запасов [14, с. 123–124, 150–157]. Соответственно, рациональная добыча на крупнейших месторождениях в течение наиболее продолжительного периода подразумевает значительные дополнительные бюджетные поступления.

Объемы добычи углеводородов целесообразно сопоставлять с уровнем их внутреннего и мирового потребления, прироста запасов. Это должно находить отражение в стратегических и программно-целевых документах, государственных докладах и др. Данные документы содержат в себе основные ориентиры развития, предполагают пути решения существующих вопросов на всех этапах производственных процессов и в ключевых аспектах регулирования, в т.ч. в области совершенствования бюджетно-налоговых инструментов, административных и экономических методов воздействия. Так, экологические аспекты ГР позволяют повысить энергоэффективность НГК, в определенной степени содействуют энергетической безопасности государства; разрабатываются регулирующие меры по сокращению вредных выбросов.

Строительство новых производственных мощностей позволяет существенно нарастить добавленную стоимость, качество и ассортимент производимой продукции, отвечающей новым экологическим требованиям, соответствовать спросу населения и промышленности, предусматривает возможности для технологического и цифрового развития [7]. Действующий механизм налогообложения НГК призван стимулировать его экономически устойчивое развитие, способствовать воспроизводству МСБ и прагматичному освоению нефтегазовых ресурсов. Целесообразно проводить преобразования, направленные на повышение энергоэффективности, что позволяет осуществить качественные нововведения для извлечения дополнительной

добавленной стоимости и получения бюджетных доходов, уменьшить энергоемкость производств. Это возможно реализовать за счет внедрения энергосберегающих технологий, введения новых экологических ориентиров, проведения мероприятий стимулирующего характера для нефтегазовых предприятий, достигающих их.

В перспективе ТЭБ страны претерпит определенные изменения: постепенно будет сокращаться удельная энергоемкость экономики в связи с переходом к более энергоэффективным технологиям; уровень добычи углеводородов и их экспорта, в особенности природного газа, – планомерно возрастет. В настоящее время высказываются различные позиции и прогнозы относительно удельного веса НГК и его составляющих в структуре национального ТЭБ.

Методы, формы и инструменты ГР НГК должны представлять собой единый отлаженно выстроенный механизм, позволяющий кратчайшим образом и с наименьшими затратами достигать целевых ориентиров, заложенных в документах стратегического развития, не допускать сбоев, в кризисный период – приходить в равновесие за счет внутренних

соединять предлагаемые действия по решению поставленных перед ними вопросов.

Кроме того, на законодательном уровне должны быть введены новые, дополнительные меры, позволяющие устранить противоречия и пробелы действующей нормативно-правовой базы, излишние барьеры во взаимодействиях государства и нефтегазовых компаний, проработаны решения по снижению или нивелированию существующих и потенциальных рисков, созданы условия для обеспечения благоприятного инвестиционного климата. Прагматичный подход предполагает превалирование стратегических результатов и ориентиров над тактическими. Эффективное ГР НГК может исключать отдельные формы и инструменты, являющиеся результативными в тактическом, однако не стратегическом отношении, т.е. не представляющие практический интерес, показывающие отсутствие результатов или несущими деструктивный характер в продолжительном прогнозном периоде.

Предлагаемые меры должны полностью сочетаться с действующими НПА, являться своевременными, учитывать

На законодательном уровне должны быть введены новые, дополнительные меры, позволяющие устранить противоречия и пробелы действующей нормативно-правовой базы, излишние барьеры во взаимодействиях государства и нефтегазовых компаний, проработаны решения по снижению или нивелированию существующих и потенциальных рисков, созданы условия для обеспечения благоприятного инвестиционного климата

резервов, что существенно повышает общую эффективность его функционирования, совершенствует значимые аспекты недропользования. Отдельные регулирующие меры могут принципиально отличаться от уже существующих, при этом органично вписываться в механизм ГР. Они должны быть комплексными, целостными, работать в связке, сочетать в себе управляющую и управляемую подсистемы,

глобальные трансформационные процессы, которые способствуют преодолению текущих деструктивных аспектов, устойчивому развитию всех сегментов НГК для обеспечения нужд национальной экономики. Они предполагают введение новых и изменение действующих регулирующих решений, приведение к общему основанию экономической и энергетической политики государства,

ГР ценообразования на внутреннем и внешнем рынках, деятельности нефтегазовых компаний, позволяя осуществлять целостное, комплексное развитие НГК, реагировать на возникающие факторы воздействия с позиций обеспечения национальной и энергетической безопасности, интересов отечественной экономики, охраны и сохранения окружающей среды [11].

Выводы и рекомендации

Понимание современных трендов в мировой экономике и энергетике, текущих и потенциальных вопросов отраслевого развития в условиях завершения перехода от плановой экономики к рыночным принципам хозяйствования с уклоном в российскую специфику предполагает определенные изменения в части поставленных перед профильными министерствами и ведомствами функций, полномочий и задач, которые должны быть направлены на достижение поставленных целевых ориентиров, устранение их излишних подразделений. Комплексное представление стратегических и тактических интересов государства в целом, федерального центра принятия решений, субъектов федерации, с одной стороны, и отраслевых компаний, а также остальных участников нефтегазового рынка – с другой, позволяет осуществлять их прямое взаимодействие, совершенствовать законодательство, применяемые методы, формы и инструменты ГР НГК.

Текущее состояние, основные вопросы и перспективы развития МСБ требуют совместных решений федеральных и региональных органов государственной власти по освоению континентальной части страны и шельфовых акваторий. Возможные противоречия, в особенности в части распределения нефтегазовых доходов и последующих трансфертов между бюджетами федерального уровня и субъектов федерации, специфики отраслевых НПА, обсуждаются в работе различных институтов: АСИ, РСПП, Союза нефтегазопромышленников

России, ТПП РФ и др. Принятие регулирующих решений основывается на конституционных принципах, нормах, а также вытекающих из них правил, в частности защиты общенациональных интересов, бережного отношения к окружающей среде, совершенствовании производственных и управленческих процессов, социальной ответственности бизнеса, улучшении социально-экономических показателей, развитии инфраструктуры, в частности в регионах проведения ГРР и добычи.

Взаимодействия между различными уровнями и ветвями государственной власти, федеральными министерствами, ведомствами рассматриваются в разрезе устойчивого развития экономической и энергетической политики в стратегическом и краткосрочном периоде на всех этапах производственных процессов. Совершенствование ценовой политики на продукцию НГК для внутреннего потребителя подразумевает выработку единой методики оценки эффективности антимонопольных органов ГР, принятие жестких административных решений в части необоснованного завышения цен в отношении конкретных предприятий или различных этапов производственной цепочки, в особенности при транспортировке и реализации конечной продукции, пресечение коррупционных факторов, повышение эффективности работы внутренних служб безопасности предприятий.

Предложения по совершенствованию ГР НГК должны органично сочетаться с существующей административной практикой, соответствовать скорости цифровизации экономических процессов, содействовать распространению технологий Четвертой промышленной революции и

Шестого технологического уклада, а нефтегазовые компании – быть полностью вовлечены в данные процессы и прагматично внедрять их на практике. В целом для достижения стратегических планов в краткосрочном периоде возможны определенные убытки и снижение эффективности [12]. ●

Литература

- Березинская О.Б. Производственная зависимость российской промышленности от импорта и механизм стратегического импортозамещения / О.Б. Березинская, А.Л. Ведев // Вопросы экономики. – 2015. – № 1. – С. 103–115.
- Винслав Ю.Б. Минерально-сырьевой комплекс России: тренды технологической модернизации и основные принципы формирования инновационной системы / Ю.Б. Винслав // Российский экономический журнал. – 2018. – № 6. – С. 27–60.
- Глазьев С.Ю. Рынок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах / С.Ю. Глазьев. – М.: Книжный мир, 2018. – 768 с.
- Дмитриевский А.Н. Перспективы инновационного развития отечественного нефтегазового комплекса / А.Н. Дмитриевский, Н.И. Комков, М.В. Кротова // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2015. – Т. 6. – № 3. – С. 62–76.
- Жизнин С.З. Влияние энергетики на устойчивое развитие / С.З. Жизнин, В.М. Тимохов // Мировая экономика и международные отношения. – 2017. – Т. 61. – № 11. – С. 34–42.
- Конторович А.Э. Стране нужна мощная программа реиндустриализации на новом технологическом уровне / А.Э. Конторович // Бурение и нефть. – 2017. – № 7–8. – С. 4–11.
- Макаров А.А. Возможности технологического прогресса в энергетике России / А.А. Макаров // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 1. – С. 71–87.
- Миливидов К.Н. Инновационные технологии в зарубежной нефтегазовой отрасли / К.Н. Миливидов // Neftegaz.ru. – 2021. – № 8. – С. 42–52.
- Новак А.В. Российский ТЭК 2022: вызовы, итоги и перспективы / А.В. Новак // Энергетическая политика. – 2023. – № 2. – С. 4–11.
- Стенников В.А. Устойчивое развитие энергетики: тенденции и вызовы / В.А. Стенников // Энергетическая политика. – 2023. – № 2. – С. 32–39.
- Трофимов С.Е. Методологические основы государственного регулирования нефтегазового комплекса России / С.Е. Трофимов. – М.: ИНФРА-М, 2022. – 314 с.
- Трофимов С.Е. Совершенствование государственного регулирования нефтегазового комплекса России: проблемы теории и методологии / С.Е. Трофимов. – М.: ИНФРА-М, 2022. – 337 с.
- Уэст Дж. Масштаб: универсальные законы роста, инноваций, устойчивости и темпов жизни организмов, городов, экономических систем и компаний / Дж. Уэст. – М.: Азбука Бизнес, Азбука-Аттикус, 2018. – 512 с.
- Шафраник Ю.К. Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию / Ю.К. Шафраник, В.А. Крюков. – М.: Перо, 2016. – 272 с.
- Эдер Л.В. Ключевые направления устойчивого развития НГК в области разведки и добычи углеводородов / Л.В. Эдер // Экологический вестник России. – 2014. – № 11. – С. 17–24.

KEYWORDS: *state regulation, oil and gas complex, economically sustainable development, methodology, methodology of state regulation, national security, energy sustainability, technological sovereignty, Sixth technological paradigm.*



Цифровой двойник турбогенератора

Ученые кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов НИУ МЭИ разработали отечественный цифровой двойник турбогенератора, предназначенный для определения повреждений на ранней стадии развития и предупреждения аварийных ситуаций. Цифровой двойник создан с помощью компьютерного моделирования в EasyMAG3D в отечественной программе для анализа электромагнитных полей, также разработанной в НИУ МЭИ. Техническое состояние турбогенераторов во многом определяет надежность электрической сети. Для эффективного контроля могут быть использованы интеллектуальные системы мониторинга, применяющие искусственный интеллект. Однако для их корректной работы требуются данные о параметрах турбогенератора в широком диапазоне рабочих режимов, в том числе с наличием повреждений. Снять такие данные с эксплуатируемого оборудования невозможно. Поэтому информация, полученная с помощью цифрового двойника, незаменима для обучения искусственных нейронных сетей.

Катализатор для увеличения нефтеотдачи

Специалисты Научного центра мирового уровня разработали новый катализатор на основе органической соли меди, способствующий повышению нефтеотдачи. Новое вещество также стабилизирует фронт горения углеводородов в пористой среде. Практически все катализаторы для окисления тяжелых нефтей плохо в ней распределяются. Это уменьшает каталитический эффект. Специалисты НЦМУ получили эффективный каталитический состав на основе соединения меди с использованием органического соединения в качестве лиганда. Одной из причин разработки такого рода катализаторов является ускорение окисления тяжелой нефти в пористых средах для снижения ее вязкости и содержания тяжелых соединений в ее составе. Полученный реагент позволяет инициировать воспламенение при более низких температурных режимах, что облегчает процесс внутрипластового горения. Технология каталитического внутрипластового горения может быть перспективной для месторождений тяжелой нефти, горючих сланцев и традиционных нефтей на последней стадии разработки.

Математическое моделирование в борьбе с отложениями

Для борьбы с асфальто-смоло-парафиновыми отложениями используют теплоноситель, который закачивается в скважину для прогрева. Один из перспективных способов – промывка скважины через полые штанги глубинного насоса – полые стержни, через которые закачивают горячую нефть или воду. Ученые Пермского Политеха доработали данный метод с помощью математического моделирования, что позволит получить точные параметры промывки при любых вводных данных и составить технологический процесс для любого месторождения. Ученые определили, как распределяется и изменяется температура и скорость движения теплоносителя на внутренней стенке насосно-компрессорной трубы и полой штанги при промывке. Для оптимального прогрева скважины на внутреннюю поверхность полых штанг наносится теплоизоляционный слой. Чтобы оценить его эффективность исследователи разработали две математические модели скважины с теплоизоляционным слоем на внутренней поверхности и без него. Наличие теплоизоляционного слоя влияет на распределение температуры на стенке скважины, температура на уровне муфты (1200 м) достигает 56 °С, увеличившись на 36 °С по сравнению со случаем без теплоизоляции. Это обусловлено тем, что теплоноситель имеет более высокую температуру при выходе из муфты равную 63 °С. Двигаясь по штангам без дополнительного слоя, теплоноситель успевает охладиться до 20,7 °С на уровне муфты. Исследователи отмечают, что для полного удаления отложений со стенок полых штанг и насосно-компрессорной трубы необходимо в качестве теплоносителя использовать нагретую до 150 °С нефть, подаваемую с расходом 150 м³ в сут.

Нанопластины для фильтрации скважин

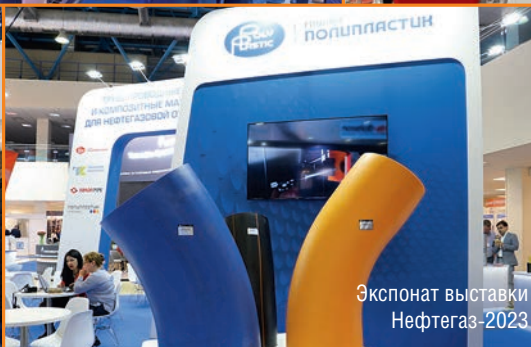
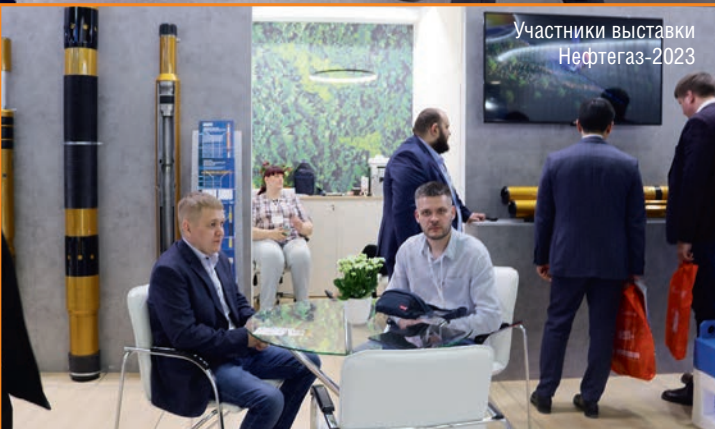
Специалисты Саратовского государственного технического университета им. Ю. Гагарина усовершенствовали метод фильтрации в стволах нефтяных и газовых скважин. Они предложили использовать пористые металлические нанопластины в качестве фильтров для удаления твердых частиц. Ученые разработали математическую модель, которая учитывает влажность и возможные деформации, для проектирования таких пластин. «Умные» материалы на основе пористых нанопластин, созданные с помощью данной модели, способны адаптироваться к агрессивным условиям, таким как высокая минерализация и изменение температуры и давления. Благодаря разработке фильтрация в стволе добывающих скважин в призабойной зоне будет осуществляться практически на наноуровне. Технология позволяет усовершенствовать процесс очистки флюида, который состоит из смеси воды, газа, нефти и конденсата. Твердые частицы, попадающие в эту смесь во время бурения и добычи, основными загрязнителями. Качественная очистка – ключевой фактор для продления срока эксплуатации насосов, которые откачивают флюид на поверхность. На скважинах фильтры постоянно засоряются в процессе работы. Для их очистки необходимо регулярно останавливать процесс добычи. Благодаря разработке ученых можно увеличить интервал обслуживания фильтров. Использование «умного» материала позволяет влиять на процесс фильтрации, моделировать накопление твердых фракций и повышать эффективность фильтра, тем самым, увеличивая его емкость.

ВИЭ + традиционные энергоносители

В НИУ МЭИ разработали программно-аппаратный комплекс для обеспечения эффективной работы возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения. Его основная функция заключается в придании установкам использующим ВИЭ электромеханических свойств синхронных генераторов, которые устанавливаются на большинстве электрических станций, так как именно их свойства определяют характеристики электроэнергетических систем. Программно-аппаратный комплекс представляет собой микроконтроллер для управления конвертерами на генерирующих объектах на базе ВИЭ, который реализует алгоритм, стимулирующий работу синхронного генератора с заданным моментом инерции. Комплекс даст возможность интегрировать энергоустановки на основе ВИЭ в традиционную энергосистему. В комплексе был применен метод систем виртуальной инерции, который состоит из устройств и алгоритмов, выполняющих преобразование постоянного тока в переменный ток промышленной частоты, имитирующий инерционный отклик в электроэнергетических системах.

Малотоксичный платинозамениватель

Химики из Российского научного фонда синтезировали малотоксичное соединение железа и марганца, которое может быть использовано в качестве катализатора для ускорения реакций между топливом и окислителем внутри ячеек топливных элементов. Эти металлопорфирины обладают низкой токсичностью и могут использоваться для усовершенствования устройств хранения и преобразования энергии. Использование катализаторов может значительно повысить эффективность топливных элементов, что особенно важно, поскольку существующие катализаторы на основе платины ограничены в запасах сырья. Российские химики обнаружили, что катализаторы, содержащие металлопорфирины железа и марганца, могут заменить платиновые катализаторы в топливных элементах. Эти соединения, структурно похожие на гемоглобин и другие белки, были интегрированы в тонкие пленки и протестированы в прототипах топливных ячеек. Исследования показали, что комбинация железа и марганца была примерно в 1,5 раза эффективнее, чем каждое из веществ отдельно, что повысило эффективность топливных ячеек. Разработка может стать альтернативой платиновым катализаторам.





Си Цзиньпин

Российско-китайское сотрудничество играет положительную роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития всего мира



А. Лукашенко

Мы – чернобыльская республика, у нас даже малейшие какие-то снисхождения при строительстве АЭС непозволительны



И. Сечин

Россия – одна из немногих стран, приоритетом для которой являются инвестиции в новые энергетические проекты



О. Шольц

Немецкие компании заинтересованы в поставках газа из Нигерии



А. Миллер

Западные компании предпочли бы, чтобы газовые потоки из России вернулись



Д. Мантуров

Автопром в России восстановился и продемонстрировал хороший рост



Ю. Ушаков

Энергетика – локомотив сотрудничества между Москвой и Пекином



Т. Жантикин

Мы хотим, чтобы наше ядерное топливо делали у нас



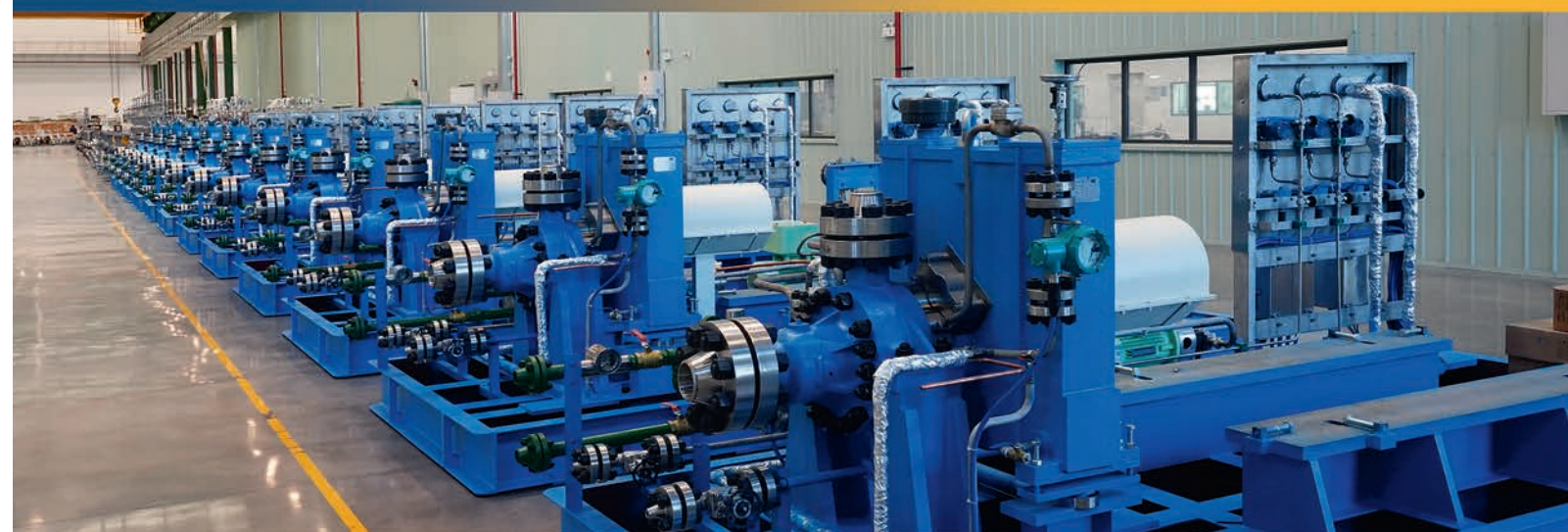
П. Сорокин

Мы планируем к 2035 г. занять до 20 % мирового рынка СПГ

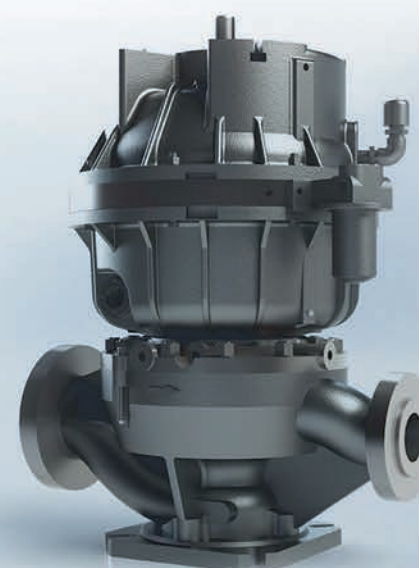


ВАРТЕЕС LTD

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



Высокоскоростной центробежный насос со встроенным редуктором (API 610 OH6)



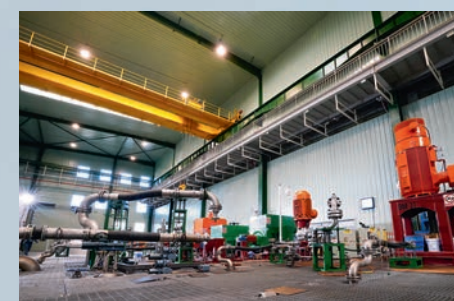
Вертикальный насос (ОН6)

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
ЕАС 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, Tecmont, 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 ПКОВ Шымкентский НПЗ



Цех



Испытательный стенд



Сервис на площадке Сибур

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

www.calt11.com

СКАЗКА В
MILLENNIUM
PARK

ЭЛИТНЫЕ УЧАСТКИ
19 КМ НОВОЙ РИГИ

✧ 1223 ☎