



ПОДВОДНАЯ  
СТАНЦИЯ ППД

РЕЗИДЕНТНАЯ  
РОБОТОТЕХНИКА

ЗАЩИТА МОРСКОЙ  
АРКТИЧЕСКОЙ  
ТЕХНИКИ

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

# Neftgaz.RU

ISSN 2410-3837

## OFFSHORE

11 [119] 2021

ПОТЕНЦИАЛ  
АРКТИЧЕСКОГО  
ШЕЛЬФА



Входит в перечень ВАК

# БАДАЕВСКИЙ

РОДИТЕЛЬСКИЙ ДОМ, ПОМОГАЮЩИЙ  
ВОСПИТЫВАТЬ ВКУС И СМЕЛОСТЬ МЫСЛИ



871 КВАРТИРА | 37 АПАРТАМЕНТОВ | 7 НЕБЕСНЫХ ВИЛЛ | ЛАНДШАФТНЫЙ ПАРК 4 ГА |

ДЕТСКИЕ СТУДИИ | ФИТНЕС С БАССЕЙНОМ | РЕСТОРАНЫ И МАГАЗИНЫ | ФЕРМЕРСКИЙ РЫНОК | ПАРКИНГ |

МОСКВА, КУТУЗОВСКИЙ ПРОСПЕКТ, 12, С. 14А

[BADAEVSKY.COM](http://BADAEVSKY.COM)

+7 495 085 43 15

 CAPITAL GROUP

Реклама. Застройщик АО «СЗ «Бадаевский». С проектной декларацией можно ознакомиться на сайте [badaevsky.com](http://badaevsky.com) и наш дом.рф

Погружная комбинированная буровая установка для круглогодичного бурения в условиях Арктики



14

Подводная станция ППД



20

Резидентная робототехника как эффективный инструмент обеспечения подводной газо- и нефтедобычи



24

Арктические острова – основные реперы для изучения геологического строения



38

Эпохи НГК 4

РОССИЯ *Главное*

Потенциал арктического шельфа 6

Технологическое оживление нефтедобычи 8

События 10

Первой строчкой 12

БУРЕНИЕ

Погружная комбинированная буровая установка для круглогодичного бурения в условиях Арктики 14

ДОБЫЧА

Подводная станция ППД 20

Резидентная робототехника как эффективный инструмент обеспечения подводной газо- и нефтедобычи 24

Выделение лития на газоконденсатных месторождениях 32

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

«Трест Коксохиммонтаж»: более 90 лет в промышленном строительстве 36

АРКТИКА

Арктические острова – основные реперы для изучения геологического строения 38

Высокопрочные стали для Арктики 46

Защита морской арктической техники



56

Гидрометеорологическое сопровождение работ в северных широтах



68

Анализ техногенного риска на морской стационарной платформе на шельфе Охотского моря



76

Рывок в развитии российского судостроения



82

АРКТИКА

Минеральные малоклинкерные вяжущие для развития инфраструктуры Арктики 52

Защита морской арктической техники 56

Космическая погода и Арктика: воздействие космических лучей на водную среду 64

Гидрометеорологическое сопровождение работ в северных широтах 68

Метрологическое обеспечение навигационно-гидрографических исследований арктического бассейна 72

ТРАНСПОРТИРОВКА

Надежность и риски подводного многофазного трубопровода 76

СУДОСТРОЕНИЕ

Рывок в развитии российского судостроения 82

РЫНОК

Международная торговля энергоресурсами в условиях пандемии 86

*Календарь событий* 91

ОБОРУДОВАНИЕ

Дисперсность газовой фазы по длине электроприводного многоступенчатого центробежного насоса при его работе на водовоздушной смеси 92

*Новости науки* 100

*Россия в заголовках* 102

*Хронограф* 103

*Нефтегаз Life* 104

*Классификатор* 106

*Цитаты* 112

# СОДЕРЖАНИЕ

## 337 лет назад

В 1684 году иркутский письменный голова Леонтий Кислянский обнаружил нефть в районе Иркутского острога на реке Ухте. Местные жители собирали ее с поверхности воды и использовали в качестве смазочного материала.

## 184 года назад

В 1837 году по поручению Горного комитета штабс-капитан Гернгрос провел разведку месторождений нефти и асфальта в Симбирской, Казанской и Оренбургской губерниях.

## 175 лет назад

В 1846 году на Апшеронском полуострове, в поселке Биби-Эйбат была пробурена первая в мире нефтяная разведывательная скважина.

## 158 лет назад

В 1863 году инженер Давид Меликов построил в Баку первый в России НПЗ, производящий главным образом керосин.

## 157 лет назад

В 1864 году на Кубани была пробурена первая в России эксплуатационная скважина.

## 104 года назад

В 1917 году нефтяные месторождения стали национализировать, в связи с чем объемы добычи существенно сократились.

## 61 год назад

В 1960 году СССР вышел на второе место в мире по объему добываемых углеводородов.

## 56 лет назад

В 1965 году было открыто Самотлорское месторождение с 36 млрд баррелей доступной нефти.

## 47 лет назад

В 1974 году по решению президента США группой американских специалистов-энергетиков был разработан проект «Независимость», главная задача которого заключалась в снижении до минимума зависимости США от импорта нефти.

## 33 года назад

В 1988 году СССР прошел пик добычи нефти, который составил 33,6 млн баррелей в день.

Издательство Neftegaz.RU

### РЕДАКЦИЯ

**Главный редактор**  
Ольга Бахтина

**Шеф-редактор**  
Анна Павлихина

**Редактор**  
Анастасия Никитина

**Аналитики**  
Артур Гайгер  
Дарья Беляева

**Журналисты**  
Анна Игнатьева  
Елена Алифинова  
Сабина Бабаева  
Екатерина Свинцова

**Дизайн и верстка**  
Елена Валетова

**Корректор**  
Виктор Блохин

### РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

**Алюнов Александр Николаевич**  
Вологодский государственный университет

**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

**Сальгин 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

**Представитель в Евросоюзе**  
Виктория Гайгер

**Отдел рекламы**  
Дмитрий Аверьянов  
Денис Давыдов  
Ольга Щербакова  
Валентина Горбунова  
Анна Егорова

**Служба технической поддержки**  
Сергей Прибыткин  
Евгений Сукалов  
Александр Скоморохов

**Отдел по работе с клиентами**  
Екатерина Данильчук  
Андрей Кужиков

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

**Выставки, конференции, распространение**  
Мария Короткова

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, Благоевский пер., д. 3, с.1  
Тел.: +7 (495) 778-41-01  
www.neftgaz.ru  
e-mail: info@neftgaz.ru  
Подписной индекс МАП11407

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

Отпечатано в типографии «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж 8000 экземпляров



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



# XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА

16 – 18 ноября 2021 | Москва, Гостиный Двор



БЕЗОПАСНОСТЬ  
СКОРОСТЬ  
DIGITAL  
ЦИФРОВИЗАЦИЯ  
ИННОВАЦИИ  
ТРАНСПОРТ

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР



ГРУППА КОМПАНИЙ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ОАО «РЖД»

ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР



СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ



РЕКЛАМА

www.transweek.digital



По итогам ВЭФ В. Путин раздал поручения отраслевым ведомствам



Рядом с газовыми месторождениями могут появиться водородные производства



На ГРП выделят 12 млрд рублей



Изношенность оборудования в сегменте НИС достигает 100 %

## ПОТЕНЦИАЛ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Анна Павлихина

В октябре президент В. Путин раздал отраслевым ведомствам поручения по итогам пленарного заседания Восточного экономического форума. Среди основных – развитие арктических территорий, регулярные транзитные перевозки по СМП и строительство Северного широтного хода.

Все это говорит о чрезвычайной важности арктического региона в глазах российского правительства, которая мыслится не иначе, как в разрезе освоения углеводородных, преимущественно шельфовых, месторождений.

Пока мир пытается понять, закончится ли нефтегазовая эра с провозглашением идеологии декарбонизации, нефтеэкспортеры стараются собрать остатки своих запасов и продать, пока на них еще есть спрос. Такая необходимость делает Арктику объектом непрекращающегося всестороннего финансирования, особенных условий и льгот (явление вполне объяснимое, учитывая стратегическую важность территории), но, возможно, дело не только в нефти и газе.

О том, что арктические льды скрывают несметные богатства, знают все, но данные о «несметности» существенно разнятся в зависимости от контекста трактовки. Так, глава Росгеологии С. Горьков сообщал о том, что запасов нефти нашей стране хватит до конца столетия, а Е. Киселев, ранее возглавлявший Роснедра, уверен, что они исчерпаются уже через 58 лет, а рентабельные еще раньше – через 19.

Сколько бы тонн и кубометров не находилось под арктическими льдами, изучена лишь незначительная часть региона, а значит, для освоения потенциала необходима активная геологоразведка.



До 70% ГРП в России обеспечиваются силами Росгеологии. Именно ей принадлежит существенная часть госзаказов и приличный портфель частных проектов. У некоторых это вызывает неудовольствие. В частности, по мнению Ю. Трутнева, компания, получающая значительное госфинансирование, «давит рынок», поэтому необходимо внести изменения в законодательство, позволяющие развиваться частным геологоразведочным компаниям.

Однако в этом году Росгеология не получила госзаказы. Совсем. И не выполнила ряд проектов на сумму 4,1 млрд рублей. Министр природных ресурсов А. Козлов отмечал, что износ оборудования

компании достигает 90%, а в сегменте НИС – 100%. У ведомства большие планы на результаты ГРП: за три года планируется открыть порядка 50 перспективных площадей. Поэтому в течение этих трех лет министерство планирует выделить 4 млрд руб. на реализацию геополитических интересов РФ в Арктике, Антарктике и Мировом океане, 12 млрд рублей на геологоразведку и 15 млрд рублей на техпереворужение предприятий, занятых в сфере ГРП.

Парк техники Росгеологии должны начать обновлять уже в следующем году. Мера выглядит слегка запоздавшей. Глава холдинга жаловался

журналистам, что в этом году у компании не было госзаказов на шельфе. Специфика работ предусматривает поисковый цикл в 5–10 лет, а при его нарушении приходится начинать сначала. Работы на шельфе по госконтрактам (которые до недавнего времени превышали 50% работ) компания сможет возобновить не ранее 2023 г., что является большой проблемой, т.к. приходится содержать простаивающие суда и решать вопросы с мобилизацией техники (для бурения глубокой скважины, по словам С. Горькова, необходимо построить километры дорог и транспортировать до 5 тыс. тонн оборудования). Росгеология уже предупредила об угрозе банкротства ряда своих структур, а недавно разместила облигации на 6 млрд руб.

Неясно, как так вышло, что одна из основных структур, отвечающих за нефтегазовое освоение Арктики, оказалась в бедственном положении. Устаревший фонд, невозможность выполнить крупные заказы, размещение займа и отсутствие перспектив на предстоящий год.

Арктика с ее северной романтикой в разные периоды истории то и дело привлекала исследователей, бизнесменов и правительств, но интерес носил волновой характер. Внимание, которым одаривают регион сейчас кажется немного чрезмерным, если учитывать только нефтегазовый интерес. Принимая во внимание общую тенденцию стремления к безуглеродным производствам и альтернативной энергетике, можно предположить, что инвестиции в геологоразведку, строительство сопутствующей инфраструктуры, транспортных коммуникаций и тому подобное не канут в Лету с ослаблением интереса к углеводородам, что по прогнозам должно произойти уже через 20–30 лет.

На арктические территории претендует ряд стран, активная хозяйственная деятельность позволит застолбить их за страной. Кроме того, в регионе со временем может сформироваться не только нефтегазовый кластер. Рядом с газовыми месторождениями могут появиться водородные производства, которые, в свою очередь, повлекут за собой развитие малой атомной генерации и альтернативной энергетики.

Но сегодня Арктика интересна прежде всего как регион, богатый нефтью и газом. Этот номер мы посвятили теме, интересующей все добывающие компании, – особенностям освоения шельфовых арктических месторождений. ●

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОЖИВЛЕНИЕ НЕФТЕДОБЫЧИ

МНОГИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОТКРЫТЫЕ ЕЩЕ В СОВЕТСКИЕ ВРЕМЕНА, ДОЛГОЕ ВРЕМЯ СЧИТАЛИСЬ НЕРЕНТАБЕЛЬНЫМИ. С РАЗВИТИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ВЗГЛЯД НА НИХ ИЗМЕНИЛСЯ. КАКИЕ МЕРЫ ПРИНИМАЮТСЯ СЕГОДНЯ ДЛЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ТРИЗ?

Елена Алифирова

Россия ведет активную работу по увеличению своего сектора арктического шельфа в рамках ООН. При этом большая часть перспективных на открытие крупных месторождений уже залицензирована. Но в течение многих лет наблюдается тренд на общее снижение объемов ГРП, особенно на ранних региональных этапах, за которые отвечает государство в лице Роснедр. Холдинг рассматривает механизмы государственно-частного партнерства, чтобы допустить недропользователей и сервисные компании к региональным работам.

Для такого партнерства планируется отдельный вид лицензирования, который позволит выполнять крупномасштабные работы. Лицензиат будет финансировать работы либо использовать свои производственные мощности для их выполнения, а в случае открытия он получит преференции при получении лицензии на доразведку и дальнейшую разработку месторождения.

Для снижения себестоимости цепочки ГРП создан парк технологий. Многие компании готовы предоставлять свои решения другим компаниям-недропользователям на рыночных условиях.

С другой стороны, небольшие технологические компании имеют возможность представить свои наработки рынку, предложив их крупным недропользователям.

Способствовать разработке технологий рентабельной работе с ТРИЗ будет новый вид лицензирования – технологические полигоны.

Кроме того, Роснедра считают необходимым дополнить налоговое стимулирование введением дополнительного инструмента – технологического стимулирования, механизм которого предполагает вложение госсредств в разработку критически важных технологий (причем сами недропользователи могут участвовать в этих разработках силами своих НТЦ) с последующей обкаткой на технологических полигонах и выводом на рынок, в том числе экспортный. ●

## Рейтинги Neftegaz.RU

90 стран подписали пакт по сокращению выбросов метана к 2030 г. на 30 % по сравнению с уровнем прошлого года. Должна ли Россия присоединиться к договоренности?

Должна ли Россия присоединиться к пакту о сокращении выбросов метана?

30%

Да, соглашения по климату должны соблюдать все страны, иначе ситуацию не изменить

2%

Нет, Китай и Индия, вместе с Россией входящие в пятерку крупных эмитентов метана, также не подписали соглашение

12%

Да, в июне из-за дефекта в трубопроводе произошел большой выброс метана, обязательства перед международным сообществом гарантировали бы большую ответственность и минимизировали риск катастрофы

18%

Нет, глобальное потепление – это фикция, антропогенный фактор минимален в общей череде условий, влияющих на изменение климата

38%

Нужно не ограничивать выбросы вредных газов, а разрабатывать технологии, позволяющие их улавливать и перерабатывать

ЕС настаивает на создании глобального рынка углеродных квот и обязуется сократить свои выбросы на 55 % по сравнению с уровнем 1990 г. Как это отразится на мировой экономике?

К чему приведет введение Евросоюзом углеродных квот?

15%

Повсеместный переход на ВИЭ грозит ростом цен, что приведет к социальным потрясениям

25%

Любые мероприятия, направленные на улучшение экологической ситуации, послужат на общее благо

9%

Гонку за нулевыми выбросами следует отложить до окончания энергетического кризиса

18%

Рост цен на углеродные квоты в Европе уже стал одним из факторов осеннего газового кризиса, дополнительные нововведения только усугубят ситуацию

33%

Переход к зеленой энергетике своевременен, учитывая помощь в размере 27 млрд долл., которую ЕС готов оказать развивающимся странам

Организатор:

VOSTOCK CAPITAL



## ДАУНСТРИМ РОССИЯ 2022



8-я ежегодная конференция  
и технические визиты  
2-3 марта 2022

Партнер технического визита 2021:

АФИПСКИЙ НПЗ

Генеральный спонсор 2021:

ГАЗПРОМБАНК  
Банк ГПБ (АО)

Золотые спонсоры 2021:

ТЕХНОТЕКС

ЭКМ  
ЭНЕРГОКОМПЛЕКС

Бронзовый спонсор 2021:

BORSIG

### Среди участников и докладчиков 2021:



**Игорь Зуга,**  
Генеральный директор,  
ОНХП



**Алексей Ульяновский,**  
Заместитель технического директора,  
Афипский НПЗ



**Алексей Мыльцын,**  
Первый заместитель директора -  
технический директор,  
Ферганский НПЗ



**Наталья Лейченко,**  
Начальник главного управления  
производства и сбыта нефтепродуктов,  
Белнефтехим



**Андрей Бачурин,**  
Заместитель начальника  
технического отдела,  
Астраханский ГПЗ филиала  
Газпром переработка



**Сергей Литунев,**  
Главный инженер,  
РН-Морской терминал Туапсе

- **Технический визит на нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия:** Делегаты познакомятся с результатами модернизации предприятий и узнают о планах на дальнейшее развитие и расширение производственных мощностей.
- **Стратегии повышения эффективности действующих производств:** Эффективное управление предприятием, обслуживание и продление срока эксплуатации, повышение энергоэффективности, автоматизация производства, повышение качества конечных продуктов, импортозамещение и многое другое.
- **Практические примеры эффективной реализации проектов строительства и модернизации:** планирование, проектирование, выбор подрядчиков и лицензиара, поставщиков оборудования и услуг, реализация в соответствии со сметой и графиком, риски на этапе проектирования и реализации.
- **Технологии в действии!** Технологические презентации и эксклюзивная выставка инновационных технологий, оборудования, услуг для нефтегазового комплекса. Технологии переработки, углубление переработки нефтяного сырья, повышение качества нефтепродуктов. Локализация и адаптация зарубежных технологий и проектной документации.
- **Беспрецедентные возможности делового общения в официальной и неформальной обстановке!** Гала-ужин, специализированная выставка, перерывы на кофе-брейки, тим-билдинг во время технических визитов. Уникальная возможность неформального общения с теми, от кого напрямую зависит судьба отрасли нефтегазопереработки и нефтегазохимии в России!

РЕКЛАМА

Подробнее:

www.oilandgasrefining.ru  
events@vostockcapital.com

+7 (495) 109 9 509

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



Сегодня, чтобы подготовить бурение глубокой скважины в удаленном месте, строятся сотни километров дорог и транспортируется до 5 тыс. т оборудования.

### В Китае ввели в эксплуатацию крупнейшее ПХГ

China Petroleum & Chemical (Sinopec) впервые закачала газ в ПГХ Wei-11, построенное в районе нефтяного месторождения Zhongyuan, что стало началом официальной эксплуатации крупнейшего кластера подземных хранилищ природного газа на севере Китая. Емкость хранилища Wei 11 оценивается в 10,03 млрд м<sup>3</sup>. Sinopec заявила,



что этот объект станет ресурсной гарантией для северного Китая и поможет поддерживать стабильное газоснабжение. Максимальная суточная пропускная способность газохранилища Wei 11 в пиковое время составит 5 млн м<sup>3</sup>. Этого достаточно для удовлетворения ежедневных потребностей в газе 10 млн домохозяйств. Кроме того, Sinopec намерена ввести в эксплуатацию газовые хранилища Wen 13 West и Bai 9 в районе месторождения Чжуньюань до конца 2021 г. Строительство ПХГ в Китае вступило в новую стадию развития после многих лет разведки, и ввод в эксплуатацию Wei-11 говорит о серьезных намерениях в этом направлении.

### QatarEnergy и Royal Dutch Shell развивают водородные проекты в Великобритании

QatarEnergy и Royal Dutch Shell договорились объединить усилия по инвестированию проектов производства голубого и зеленого водорода в Великобритании. Проекты направлены на сокращение выбросов углекислого газа в промышленных кластерах и транспортном секторе страны, особый акцент компании сделали на Лондон. Великобритания, которая опубликовала свою водородную стратегию 17 августа 2021 г.,



поддерживает как производство зеленого водорода путем электролиза воды, так и голубого – на основе ископаемого топлива с улавливанием и хранением углерода. Компания Shell уже

запустила крупнейший в Европе электролизер водорода в Германии, мощностью 10 МВт, использующий ВИЭ для производства 1,3 тыс. т/год зеленого водорода. Японская Mitsubishi заявила в сентябре 2021 г., что подписала меморандум о взаимопонимании с Shell, о возможности производства около 165 тыс. т/год голубого водорода в Канаде.

### Росгеология вернется на шельф в 2023 году

Росгеология возобновит работы по госконтрактам на шельфе только с 2023 г. В 2021 г. у компании не было госконтрактов по разведке шельфа. Для компании это существенная проблема, потому что необходимо содержать простаивающие суда. На поиск полезных ископаемых тратится от пяти до десяти лет непрерывных исследований, при сбое цикла приходится начинать все сначала. Глава Росгеологии С. Горьков уверен, что необходимо создавать госпрограмму, которая обеспечила бы планомерную загрузку судов и последовательное геологическое изучение шельфа. Особенно это играет большую роль в труднодоступных местах, где мобилизация людей и техники требует минимум полгода.

Второй этап ветки ВСМО  
Богданская ТЭС запущена  
Продажа квот  
Дошли руки до Арктики  
Южный поток  
Цены на газ  
Северный поток достроили



ЛУКОЙЛ планирует реализовать проект по производству зеленого водорода на территории Краснодарского края объемом.

### Северный поток-2 заполнили технологическим газом

Процедура по заполнению газом первой достроенной нитки МГП Северный поток-2 завершена 18 октября 2021 г. В соответствии с планом и проектными требованиями нитка наполнена техническим газом в объеме приблизительно 177 млн м<sup>3</sup>, что обеспечивает уровень давления 103 бар в газопроводе, этого давления достаточно, чтобы в дальнейшем начать транспортировку газа.



Пусконаладочные работы на второй достроенной нитке (Line A, первая нитка, но вторая по степени готовности) продолжаются. В ГТС Германии газ из МГП Северный поток-2 пока не поступает. При этом цены на газ в Европе ощутимо снизились на этой новости. Аналогичная ситуация наблюдалась в августе, когда на ошибочных данных о поставках газа по МГП Северный поток-2, цены на газ откатились от максимальных отметок на 15%. Ситуация с МГП Северный поток-2 столь серьезно влияет на цены на газ, поскольку другие страны не могут или не хотят увеличивать поставки газа в Европу. ●

### На Алтае запустят новую ТЭЦ за 4 млрд рублей

Единственное предприятие в России, производящее природный сульфат натрия, Кучуксульфат запустит в 2022 г. ТЭЦ стоимостью около 4 млрд руб. Проект планируют реализовать в рабочем поселке Степное озеро в Алтайском крае. ТЭЦ будет производить пар для завода, а также тепло- и электроэнергию для более чем 6 тыс. жителей поселка. На новой ТЭЦ будет 4 котлоагрегата, суммарно они смогут производить 265 т пара в час. ТЭЦ будет оснащена системой снижения уровня выбросов вредных веществ

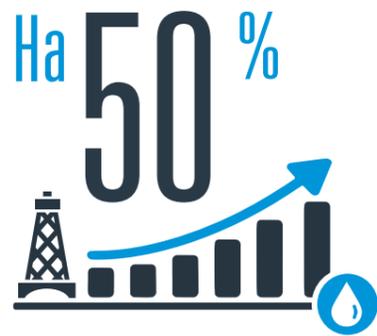


в атмосферу. Новые технологии помогут уменьшить расход энергетического угля и снизить образование золошлаковых отходов. Нормативный срок службы объекта – 40 лет.

В настоящее время на объекте ведут пусконаладочные работы. Запуск запланирован на 2022 г.

### 33 проекта

Минпромторг РФ опубликовал карту по производству низкоуглеродного и высокоуглеродного аммиака, в которую вошли тридцать три проекта в восемнадцати регионах России. Прогнозируется, что водород в перспективе способен стать новым энергоносителем. Перспективы в этом направлении видят многие крупные компании. Росатом в 2024–2025 гг. планирует запуск четырех пилотных проектов по производству водорода. В Калининградской области запланирован запуск производства зеленого водорода методом электролиза воды с использованием энергии ветра. В Мурманской области построят производство низкоуглеродного водорода для экспорта в Европу. Еще два производства госкорпорация предполагает запустить к 2025 г. на Сахалине. Оба проекта ориентированы на страны АТР. НОВАТЭК планирует запустить Обский ГХК в 2027 г. Газпром нефть рассматривает технологию CCUS как один из способов производства низкоуглеродного водорода.



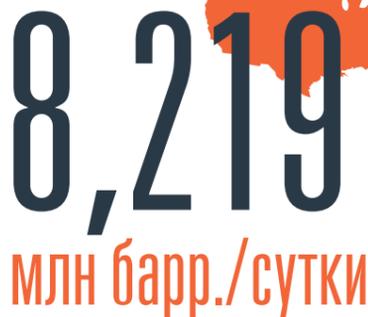
На **50%** планирует увеличить объемы эксплуатационного бурения «Газпром нефть» в ближайшие 5–7 лет

Добыча может вырасти в 1,5 раза до **150 млн т** углеводородов в год

Количество энергокомпаний в Великобритании, обанкротившихся с начала сентября 2021 г., достигло



Добыча сланцевой нефти в США в ноябре 2021 г. составит

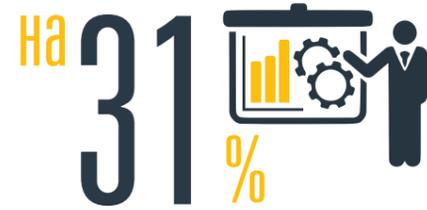


В октябре фактическая добыча составила **8,142 млн барр./сутки**

«Транснефть–Западная Сибирь» за 9 месяцев проверила



Газпром увеличил объем инвестпрограммы на 2021 г.



инвестирует Билл Гейтс в зеленые проекты Великобритании



К 2030 г. мощность портов Хабаровского края составит



Чистая прибыль Halliburton за 9 месяцев 2021 г. –



Годом ранее был убыток на **\$2,7 млрд**

Россия планирует занять не менее



мирового водородного рынка к 2030 г.

17 тыс. т грузов доставили на площадку газохимического кластера



В эту навигацию была задействована мега-баржа, в 2 раза превышающая 7 существующих комбинированных подъемных барж

До **40** млн т/год планирует увеличить производство СПГ НОВАТЭК в 2025 г.



и запустить Обский ГХК в 2027 г.

До **7** млрд долл. вырастут инвестиции в электроэнергетику в Иране к 2024 г.,

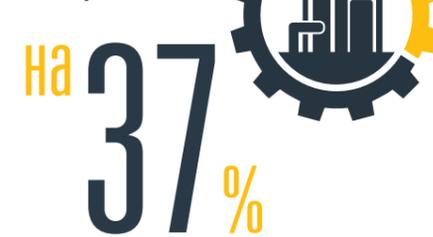


производственная мощность электросетей составит **98 ГВт**

ЛУКОЙЛ разместил на Лондонской фондовой бирже 2 транша еврооблигаций объемом



Иркутский завод полимеров построен



Стоимость проекта с учетом строительства микрорайона в г. Усть-Куте – **250 млрд руб.**

**1** млн т/год составит производственная мощность завода по выпуску метанола, который построят в Волгограде



Объем инвестиций превысит **50 млрд руб.**

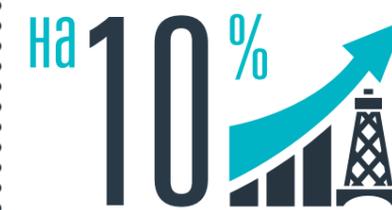
Нафтогаз Украины планирует увеличить добычу природного газа в ближайшие 10 лет



Россия увеличит поставки коксующегося угля в Индию



Газпром нефть нарастит добычу в 2022 г. более чем



Роснефть продает консорциуму компаний Vitol и MME



в проекте Восток Ойл

На территории ОЭЗ Ворота Байкала запустят



На их строительство было выделено **363 млн руб.**

# БУРЕНИЕ В АРКТИКЕ

## Погружная комбинированная буровая установка для круглогодичного разведочного бурения в арктических условиях

### Амосова Надежда Викторовна

главный инженер проекта,  
АО «ЦКБ «Коралл»

### Благовидова Ирина Львовна

зам. начальника отдела,  
АО «ЦКБ «Коралл»,  
доцент,  
Севастопольский государственный  
университет

### Пьянов Андрей Владимирович

начальник сектора,  
АО «ЦКБ «Коралл»

### Тертышников Александра Сергеевна

начальник сектора,  
АО «ЦКБ «Коралл»



ПОСТАНОВЛЕНИЕМ ПРАВИТЕЛЬСТВА № 374 ОТ 31 МАРТА 2017 ГОДА БЫЛА УТВЕРЖДЕНА ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПРОГРАММА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ «РАЗВИТИЕ СУДОСТРОЕНИЯ И ТЕХНИКИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА 2013–2030 ГОДЫ», ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ КОТОРОЙ НАПРАВЛЕННЫ НА СОЗДАНИЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАДЕЛА И ТЕХНОЛОГИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ТЕХНИКИ, А ТАКЖЕ УКРЕПЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НАУЧНОГО И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОГО ПОТЕНЦИАЛОВ ОТРАСЛИ, РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА НАУЧНЫХ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ. КАКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВОПЛОЩЕНИЯ ЭТОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДЛАГАЮТ РОССИЙСКИЕ КОНСТРУКТОРСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ?

GOVERNMENT DECREE № 374 OF MARCH 31, 2017 APPROVED THE STATE PROGRAM OF THE RUSSIAN FEDERATION "DEVELOPMENT OF SHIPBUILDING AND EQUIPMENT FOR THE DEVELOPMENT OF OFFSHORE FIELDS FOR 2013–2030", THE MAIN GOALS OF WHICH ARE AIMED AT CREATING AN ADVANCED RESERVE AND TECHNOLOGIES NECESSARY TO CREATE PROMISING EQUIPMENT, AS WELL AS STRENGTHENING AND DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND DESIGN POTENTIAL OF THE INDUSTRY, DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCES OF SCIENTIFIC AND DESIGN ORGANIZATIONS OF THE SHIPBUILDING INDUSTRY. WHAT SOLUTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THIS PROGRAM ARE OFFERED BY RUSSIAN DESIGN ORGANIZATIONS?

Ключевые слова: буровая установка, геологоразведка, шельфовое месторождение, ледовые условия, разведочное бурение.

АО «ЦКБ «Коралл» за более чем пятидесятилетний период деятельности накоплен уникальный опыт проектирования самоподъемных, полупогружных, погружных и стационарных платформ, морских плавучих кранов, крановых и трубоукладочных судов, других средств обустройства морских нефтяных и газовых месторождений.

В «ЦКБ «Коралл» не только постоянно отслеживаются последние тенденции и достижения в области развития технологий и средств освоения шельфа, но и ведутся собственные работы в области создания перспективной техники, в частности для расширения сезона поисково-разведочного бурения в суровых климатических условиях. Для этих целей выполняется анализ существующих концепций буровых установок, способных продлить сезон бурения в ледовых условиях; разрабатываются архитектурно-конструктивные и технические решения в отношении буровой установки для выполнения поисково-разведочного бурения в акваториях с коротким безледовым сезоном или неполным очищением ото льда.

На сегодняшний день для бурения разведочных и эксплуатационных скважин на арктическом шельфе России применяются самоподъемные буровые установки (далее СПБУ), полупогружные буровые установки (далее ППБУ) и буровые суда, которые могут работать только в период «чистой» воды, то есть в безледовый период.

В мировой практике и в РФ накоплен большой опыт проектирования и строительства добычных морских ледостойких буровых установок на шельфе замерзающих морей, в том числе:

- создание гравитационных буровых установок с опорным основанием из железобетона (платформы «Беркут», «Пильтун-Астохская-Б», «Лунская-А») или стальным опорным основанием (платформа «Приразломная»);
- создание свайных платформ для освоения месторождений Северного Каспия (платформы для месторождений им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского и им. В.И. Грайфера);

### ФАКТЫ

#### Для бурения

разведочных и эксплуатационных скважин на арктическом шельфе России применяются СПБУ, ППБУ и буровые суда, которые могут работать только в период «чистой» воды

- создание ППБУ с усиленным ледовым корпусом (платформы «Полярная Звезда» и «Северное сияние») для возможности бурения добычных скважин в «легких» ледовых условиях.

Таким образом, вопрос технических решений, проектирования и строительства именно мобильных технических средств для обеспечения бурения в ледовых условиях остается открытым и требует своего решения.

В целом выбор принципиальных типов объектов обустройства нефтегазовых шельфовых месторождений зависит от глубины моря, глубины залегания нефтегазоносных пластов и ледовых условий.

Комплексный анализ лицензионных участков (ЛУ) в Арктике и на Дальнем Востоке, включая нераспределенный лицензионный фонд, показал следующее распределение площадей и глубин [1]:

- 1) Площадь ЛУ Баренцева и Карского морей 673 тыс. км<sup>2</sup>, исключая Печорское море и Обскую и Тазовскую губы, на ЛУ преобладают глубины более 60 м – 78%; Печорское море, Обская и Тазовская губы, наоборот, относительно мелководны, площадь ЛУ на глубинах до 60 м составляет 84%.
- 2) На шельфе морей Восточной Арктики площадь ЛУ составляет 776 тыс. км<sup>2</sup>.

Глубины от 0 до 40 м – 23%,  
от 40 до 60 м – 45%, от 60 м – 32%.

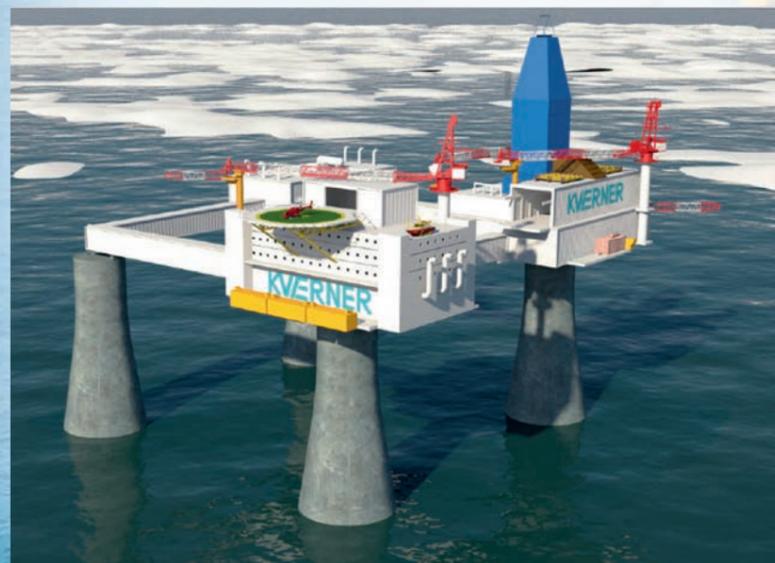
3) В пределах морей Дальнего Востока общая площадь ЛУ составляет 207 тыс. км<sup>2</sup>, 84% из которых находятся на глубинах более 80 м.

Эффективность развития шельфа российского сектора Арктики в значительной мере зависит от возможности расширения диапазона глубин и сезона поисково-разведочного бурения в ледовых условиях [2]. Здесь следует отметить, что современные СПБУ, которые наиболее широко используются для разведочного бурения и позволяют охватить большой диапазон глубин, имеют ограничения по эксплуатации в ледовых условиях. Вопрос продления сезона бурения, в том числе за счет установки в точке эксплуатации до полного очищения акватории ото льда или снятия с нее в начале формирования ледового покрова для различных типов СПБУ может быть решен путем создания принципиально новых винтеризированных СПБУ и судна-носителя, способного доставлять их к месту установки и месту «отстоя» в ледовых условиях.

Первыми мобильными решениями для разведочного бурения в сложных климатических условиях были ледостойкие погружные буровые установки для шельфа Канады: SSDC, «Molikraaq», «Glomar Beaufort sea I». Особенностью их применения является относительно небольшая рабочая глубина моря – до 20 м. Однако для диапазона глубин 40–60 м технические средства для разведочного бурения в сложных климатических условиях на сегодняшний день отсутствуют.

Норвежская компания Kvaerner разработала концепцию морской железобетонной передвижной буровой установки с многоколонным основанием для разведочного бурения в арктических условиях «Condrill» (рис. 1). По заявлению разработчика, платформа может обеспечивать круглогодичное

РИС. 1. Общий вид платформы «Condrill» фирмы Kvaerner



## ФАКТЫ

### Выбор

принципиальных типов объектов обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений шельфа зависит от глубины моря и ледовых условий

# 20

максимальная глубина моря, на которой могли быть установлены первые установки для разведочного бурения в сложных климатических условиях

### «Condrill»

– передвижная установка с многоколонным основанием для разведочного бурения в арктических условиях круглый год на глубине 20–60 м

бурение и испытание скважин в районах арктического шельфа с глубинами 20–60 м.

Однако представленная концепция имеет ряд ограничений, связанных со значительной транспортной осадкой, затрудняющей буксировку в стесненных условиях и на мелководье, дефицитом остойчивости при погружении на предельные глубины. Отдельно следует отметить, что при установке на малых глубинах (20–30 м) палуба верхнего строения будет находиться на высоте порядка 55–65 м над уровнем моря. В таких условиях эвакуация персонала, особенно в ледовых условиях, будет крайне затруднена, а ветровые воздействия на такой высоте будут значительными, что негативно может сказаться на условиях обитаемости. Кроме того, определенные затруднения могут возникнуть и при организации доставки технологических и прочих запасов.

Тем не менее концепция использования гравитационных оснований для разведочного бурения в сложных климатических условиях заслуживает самого пристального внимания и, по всей видимости, наряду с расширением сезона бурения СПБУ, может стать одним из основных направлений развития технических средств освоения шельфа и обеспечения бурения в ледовых условиях на глубинах 20–60 м.

Для буровых установок гравитационного типа можно выделить следующие основные критичные вопросы и задачи проектирования:

- выбор формы корпуса опорного основания;
- обеспечение устойчивости на грунте под воздействием внешних нагрузок;
- обеспечение остойчивости при погружении и всплытии;
- контролируемый отрыв от грунта;
- способы транспортировки буровой установки (постановка, снятие, перемещение между точками постановки).

Таким образом, на выбор формы и габаритных размеров корпуса влияет ряд противоречащих друг другу факторов, и поиск оптимального решения является достаточно сложной задачей.

РИС. 2. Вариант комбинированной буровой установки

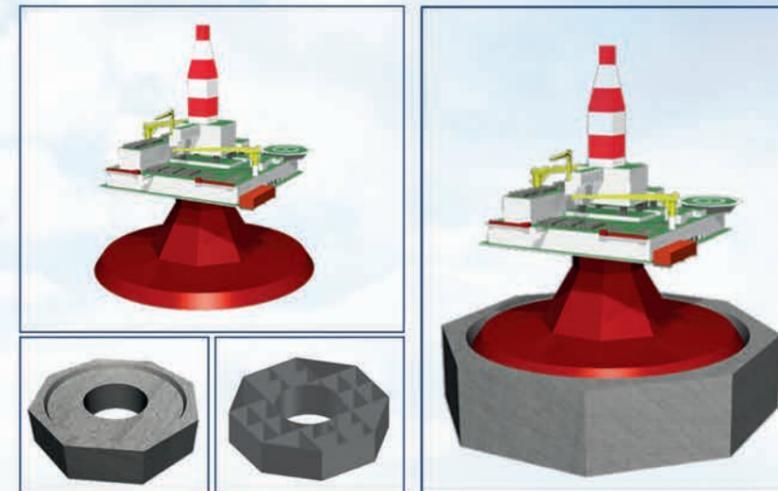


РИС. 3. Вариант комбинированной буровой установки при эксплуатации в безледовый и ледовый периоды



Одним из вариантов решения поставленной задачи является погружная комбинированная буровая установка гравитационного типа для круглогодичного разведочного бурения в условиях Арктики. Установка включает в себя кольцевое ледостойкое железобетонное опорное основание, позволяющее расширить диапазон эксплуатационных глубин, и установленное на нем верхнее строение в виде ледостойкой стальной буровой платформы, имеющей коническую наклонную поверхность в районе переменной ватерлинии для восприятия ледовых нагрузок (рис. 2 и 3).

В основе предлагаемой концепции лежит идея разделения сооружения на составные части с возможностью их независимой транспортировки и установки на точке эксплуатации.

Железобетонное опорное основание обладает собственной плавучестью для возможности транспортировки, а после погружения и балластирования обеспечивает надежный контакт с грунтом и создание необходимых гравитационных сил, обеспечивающих устойчивость сооружения при воздействии внешних нагрузок. В процессе разведочного бурения основание служит опорой для

стальной платформы и, с учетом значительной площади опирания на морское дно, обеспечивает достаточно равномерную передачу горизонтальных и вертикальных усилий от воздействия внешних нагрузок на грунтовое основание.

Внутреннее пространство железобетонного основания разбито на простые прямостенные отсеки, предназначенные для приема жидкого балласта.

Стальная буровая платформа является самостоятельной частью комплекса и обеспечивается всем необходимым для функционирования на заданный период автономности.

Стальная буровая платформа также обладает собственной плавучестью, а установка в эксплуатационное положение осуществляется за счет приема жидкого балласта. Погружение и всплытие осуществляется с созданием наклона (дифферента) на одну из оконечностей. Стальная буровая установка может выполнять разведочное бурение на глубинах до 20–30 м.

Железобетонное и стальное основания имеют простую осесимметричную форму, что значительно упрощает процесс балластирования, так как параметры остойчивости имеют одинаковую величину при наклонах в любом направлении.

Преимуществом концепции разделения сооружения на составные части является то, что железобетонное опорное основание, непосредственно взаимодействующее с грунтовым основанием, имеет минимальный набор систем, необходимых для погружения и всплытия, и простую форму. Для такого сооружения не будет ограничений по углу дифферента в процессе погружения или всплытия, что делает эти операции более контролируемыми.

Для концепции комбинированной буровой установки выполнен комплекс расчетов, подтверждающих ее жизнеспособность. Оценка плавучести и остойчивости при транспортировке, а также возможности позиционирования, балластирования и погружения на дно была выполнена при помощи

## ФАКТЫ

### Патент ЦКБ «Коралл»

на погружную комбинированную установку получен в 2020 г.

РИС. 4. Блок-схема выбора архитектурно-конструктивного типа сооружения и сценарии его взаимодействия с ледовыми образованиями

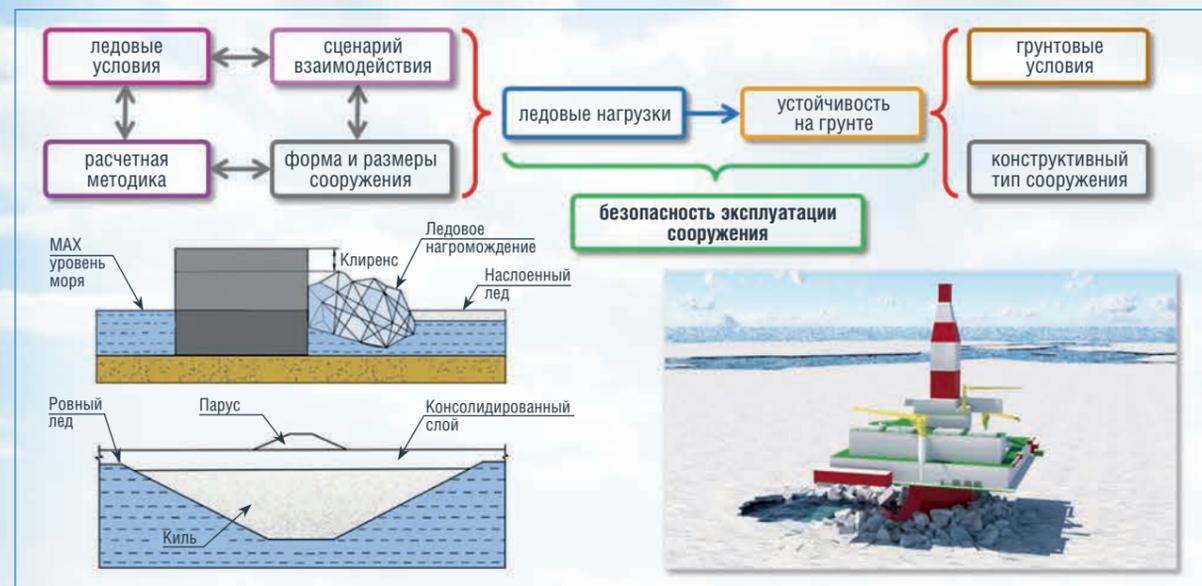


РИС. 5. Расчетные конечно-элементные модели для оценок устойчивости

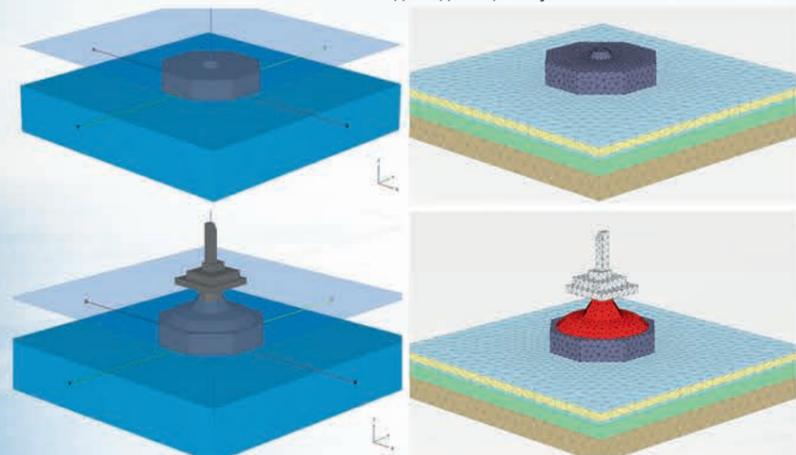
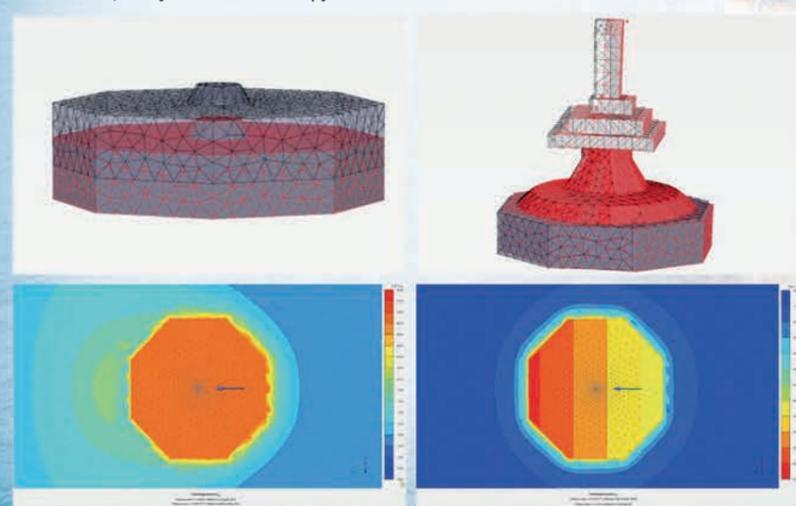


РИС. 6. Оценка устойчивости на грунте



математического моделирования. Кроме того, была выполнена проверка устойчивости на грунте при воздействии внешних нагрузок. Оптимальная форма с точки зрения восприятия ледовых нагрузок была выбрана на основании серии предварительных расчетов.

Особое внимание было уделено оценке ледовых нагрузок, величина которых значительно зависит от формы сооружения и сценария взаимодействия. Для оценок ледовых нагрузок рассмотрены два основных сценария взаимодействия: ровный наслонный лед и торосы (рис. 4).

На основе полученных данных о величине ледовых нагрузок и данных об инженерно-геологических условиях в Арктическом регионе были выполнены расчеты устойчивости на грунте. Расчеты выполнены с учетом реальной последовательности установки сооружений на грунт (рис. 5).

Выполненные оценки позволили понять уровень напряженно-деформированного состояния грунтового основания и перемещений комбинированной буровой установки при эксплуатации в безледовый и ледовый периоды (рис. 6).

Отдельным блоком задач являются морские операции по установке и совмещению железобетонного опорного основания и стальной буровой платформы.

РИС. 7. Морские операции по установке железобетонного опорного основания

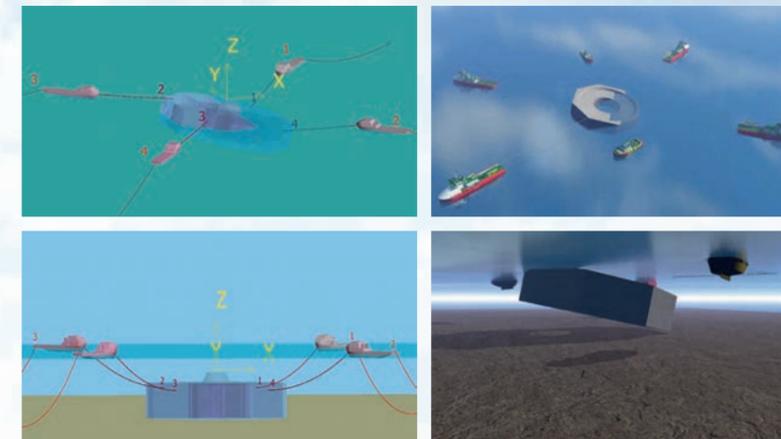


РИС. 8. Морские операции по установке стальной буровой платформы

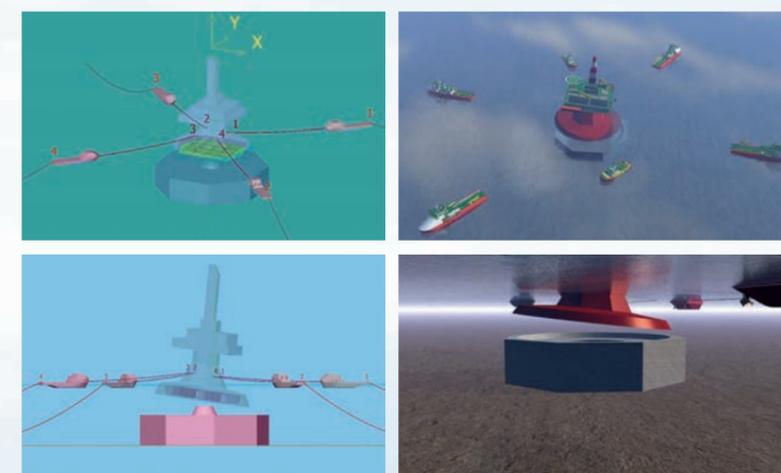
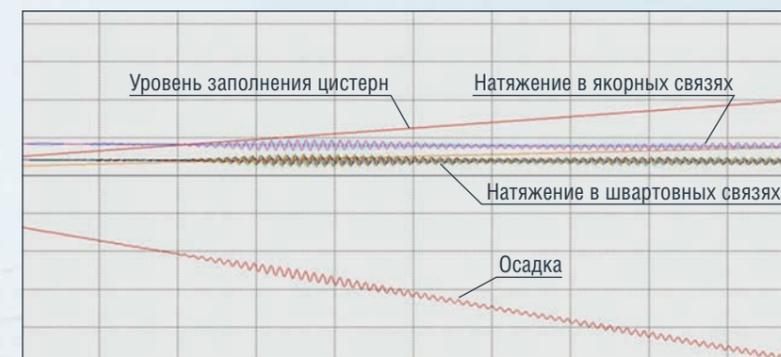


РИС. 9. Графики погружения



Морская операция по установке железобетонного опорного основания и стальной буровой платформы производится в два этапа, первый из которых включает в себя постановку на дно железобетонного опорного основания (рис. 7), и второй этап – это установка непосредственно стальной буровой платформы (рис. 8).

Для обоих этапов предусматривается одинаковый подход, заключающийся в переформировании буксирного ордера в районе постановки на грунт на удерживающий ордер, грубое позиционирование,

балластировку до момента нахождения сооружения за 1–2 м до касания грунта железобетонной подставкой или буровой установкой подставки, а далее точное позиционирование и окончательная балластировка для обеспечения необходимой прижимной нагрузки.

Выполненные расчетные оценки позволили получить данные о траектории погружения и колебаниях сооружений, необходимом количестве балласта, принимаемого при погружении, времени балластных операций, а также уровне натяжений в швартовных и буксирных связях при воздействии заданных погодных условий (рис. 9).

На основании выполненных проработок и анализа применимости рассматриваемой комбинированной буровой установки для круглогодичного разведочного бурения в условиях Арктики, можно отметить следующее:

- концепция позволяет выполнять разведочное бурение на глубинах до 60 м за счет применения железобетонного опорного основания;
- принятые архитектурно-конструктивные решения позволяют осуществлять транспортировку и постановку, а также снятие с точки бурения, что особенно актуально при проведении поисково-разведочных работ.

На конструкцию комбинированной буровой установки для освоения континентального шельфа в арктических условиях АО «ЦКБ «Коралл» в 2020 г. получен патент на изобретение [3].

**Литература**

1. Аналитические материалы ЦКТР ТЭК ФГБУ «РЭА» Минэнерго России.
2. Мусабинова А.А. Разработка и исследование применимости новой конструкции ледостойких платформ на мелководном арктическом шельфе: дисс. канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. – 119 с.
3. Патент № 2 745 457 Российская Федерация, МПК E02B 17/00 (2006.01). Морское гравитационное сооружение для арктических условий: № 2020127130: заявл. 12.02.2020: опубликовано 25.03.2021 / Амосова Н.В., Благовидова И.Л., Кобылин А.Е., Ленский В.Ф., Пьянов А.В.; патентообладатель АО «ЦКБ «Коралл». – 13 с.: ил.

KEYWORDS: drilling rig, geological exploration, offshore field, ice conditions, exploratory drilling.

# ПОДВОДНАЯ СТАНЦИЯ ППД

## Оптимизация схемы обустройства морского нефтяного месторождения с применением ПДК

### Зубков Степан Константинович

студент,  
Российский государственный  
университет нефти и газа (Национальный  
исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина

### Дряхлов Вячеслав Сергеевич

главный специалист,  
ООО «Морнефтегазпроект»

### Каменский Глеб Андреевич

специалист,  
ООО «Морнефтегазпроект»

В РАБОТЕ ВЫПОЛНЕН РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ САТЕЛЛИТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ К ПЛАТФОРМЕ: ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ЗАКАЧКИ В ПРОДУКТИВНЫЙ ПЛАСТ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ С ПРОКЛАДКОЙ ТРУБОПРОВОДА ДО ПОДВОДНЫХ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН; ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНОЙ СТАНЦИИ ПОДГОТОВКИ МОРСКОЙ ВОДЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА ДНЕ АКВАТОРИИ. ПРОИЗВЕДЕН РАСЧЕТ БОЛЕЕ 30 ВАРИАНТОВ ВОДОВОДОВ С РАЗНЫМИ НОМИНАЛЬНЫМИ ДИАМЕТРАМИ И РАБОЧИМИ ДАВЛЕНИЯМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДЫ ОТ ПЛАТФОРМЫ ДО УСТЬЕВ СКВАЖИН НА РАССТОЯНИЯ ОТ 5 ДО 50 КМ. ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТРУБОПРОВОДОВ ИСПОЛЬЗОВАЛОСЬ ПО PIPESIM. РЕЗУЛЬТАТОМ РАБОТЫ ЯВЛЯЕТСЯ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ОБЪЕМОВ ЗАКАЧКИ ВОДЫ И РАССТОЯНИЯ ОТ ПЛАТФОРМЫ ДО ПОДВОДНЫХ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН, В ПРЕДЕЛАХ КОТОРОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДВОДНОЙ СТАНЦИИ ПОДГОТОВКИ И ЗАКАЧКИ МОРСКОЙ ВОДЫ ПОЗВОЛЯЕТ ПОВЫСИТЬ РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТА. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНОЙ ПОДГОТОВКИ МОРСКОЙ ВОДЫ СЛАБО МАСШТАБИРУЕТСЯ НА БОЛЬШИЕ ОБЪЕМЫ, ОДНАКО С РАЗВИТИЕМ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ДАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУДУТ ПОЯВЛЯТЬСЯ БОЛЕЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ЧТО ПОЗВОЛИТ РАСШИРИТЬ ОБОЗНАЧЕННЫЕ ДИАПАЗОНЫ ПРИМЕНИМОСТИ

IN THE WORK, THE CALCULATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF TWO ALTERNATIVE OPTIONS FOR ORGANIZING THE FLOOD PATTERN FOR CONNECTING THE SATELLITE FIELD TO THE PLATFORM WAS CARRIED OUT, NAMELY, THE PREPARATION OF WATER FOR INJECTION INTO THE RESERVOIR ON THE TECHNOLOGICAL PLATFORM WITH THE LAYING OF A PIPELINE TO SUBSEA INJECTION WELLS; THE USE OF AN UNDERWATER SEAWATER TREATMENT STATION LOCATED IN THE IMMEDIATE VICINITY OF INJECTION WELLS AT THE BOTTOM OF THE WATER FLOOR. MORE THAN 30 VARIANTS OF WATER PIPELINES WITH DIFFERENT NOMINAL DIAMETERS AND WORKING PRESSURES WERE CALCULATED FOR TRANSPORTING WATER FROM THE PLATFORM TO WELLHEADS AT DISTANCES FROM 5 TO 50 KM. PIPESIM SOFTWARE WAS USED FOR HYDRAULIC CALCULATIONS OF PIPELINES. THE RESULT OF THE WORK WAS TO DETERMINE THE RANGE OF WATER INJECTION VOLUMES AND THE DISTANCE FROM THE PLATFORM TO SUBSEA INJECTION WELLS, WITHIN WHICH THE USE OF A SUBSEA STATION FOR THE PREPARATION AND INJECTION OF SEAWATER MAKES IT POSSIBLE TO INCREASE THE PROJECT ECONOMICS. AT PRESENT, THE TECHNOLOGY OF UNDERWATER TREATMENT OF SEAWATER IS POORLY SCALABLE FOR LARGE VOLUMES, HOWEVER, WITH THE PROMOTION OF THE MARKETING OF THIS TECHNOLOGY, MORE HIGH-PERFORMANCE ITEMS OF EQUIPMENT WILL BE AVAILABLE, WHICH WOULD ENHANCE THE APPLICABILITY OF THE INDICATED RANGES

Ключевые слова: обустройство нефтегазового месторождения, шельф, система подводной добычи, поддержание пластового давления, подготовка воды.

При подключении нового нефтяного месторождения к действующей добывающей платформе зачастую возникает вопрос обеспечения требуемых объемов воды для ППД. Свободных мощностей технологического комплекса платформы (системы подготовки морской воды и закачки воды в пласт) может быть недостаточно. Таким образом, для обеспечения ППД на новом спутниковом месторождении помимо строительства водовода от платформы, как правило, требуется и дорогостоящая модернизация оборудования технологического комплекса. В данной статье рассмотрен альтернативный вариант обеспечения ППД на спутниковом месторождении, при котором комплекс подготовки воды для закачки в продуктивный пласт находится на дне акватории в непосредственной близости от нагнетательных скважин. Таким образом, было рассмотрено два варианта ППД:

1. Модернизация имеющегося оборудования системы ППД на платформе и прокладка водовода до нагнетательных скважин с мокрым заканчиванием;
2. Установка подводного модуля подготовки и закачки морской воды около устьев скважин с прокладкой шлангокабеля от платформы.

В настоящее время подводные станции подготовки морской воды выпускаются только норвежской

### ФАКТЫ

# 20 000

барр./сут.

пропускная способность по воде модуля SEABOX подводной станции подготовки морской воды

компанией NOV, модуль SEABOX имеет пропускную способность по воде в 20 000 барр./сут. При сравнении с первым (стандартным) вариантом обеспечения ППД рассматривались диапазоны удаленности от платформы – от 5 до 50 км; объемов закачки – от 20 000 до 100 000 барр./сут.

В качестве граничного условия при расчетах устьевое давление закачки воды было принято равным 15 МПа. Некоторые из рассчитанных вариантов трубопроводного транспорта воды (вар. 1) представлены в таблице 1.

Стоимость комплекса подготовки воды после индексации составляет 529,46 млн руб. Данная комплектация является самой бюджетной среди тех, что представлена производителем, она позволяет очищать воду до 24 мкм, проводит электрохлорирование, очистку от грубых примесей, обработку гидрокислыми радикалами.

ТАБЛИЦА 1. Параметры водоводов, использованные при расчете

Ø внешний, мм	Длина, м	Максимальная скорость потока, м/с	Давление рабочее, МПа	Давление опрессовки, МПа	Ø внутренний, мм
<b>20 000 барр./сут (3180 м³/сут)</b>					
133	5 000	3,78	19,1	28,65	111,0
140	5 000	3,3	17,3	25,95	119,0
146	5 000	2,93	16,2	24,3	126,0
146	10 000	3,1	20,1	30,15	123,0
159	10 000	2,5	17,2	25,8	137,0
168	10 000	2,18	16,1	24,15	146,0
168	20 000	2,27	19	28,5	143,0
178	20 000	2,00	17,8	26,7	153,0
180	20 000	1,94	17,5	26,25	155,0
194	20 000	1,6	15,9	23,85	170,0
178	30 000	2,04	20,5	30,75	151,0
180	30 000	1,98	20,1	30,15	153,0
194	30 000	1,65	17,5	26,25	168,0
194	40 000	1,69	19,3	28,95	166,0
203	40 000	1,5	17,7	26,55	176,0
194	50 000	1,73	21,3	31,95	164,0
203	50 000	1,54	19,2	28,8	174,0
<b>40 000 барр./сут (6360 м³/сут)</b>					
168	5 000	4,55	19,4	29,1	143,0
178	5 000	3,93	17,2	25,8	154,0
180	5 000	3,8	17,1	25,65	156,0
194	5 000	3,15	15,6	23,4	172,0
180	10 000	4,14	22,9	34,35	150,0

Стоимость подводного однофазного насоса центробежного типа (SSPP Centrifugal) с мощностью 25 000 барр./сут составляет 724,34 млн руб. Отсюда можно сделать вывод, что большую часть расходов при выборе концепции с подводным модулем пойдет на закупку оборудования.

Сравнение экономической эффективности вариантов производилось по критерию минимизации CAPEX с учетом стоимости оборудования, трубопроводов, шлангокабелей и морских операций.

На рис. 1 показано сравнение стоимости оборудования и монтажных работ при 5 вариантах объемов закачки воды:

- а) 20 000 барр./сут (3180 м³/сут),
- б) 40 000 барр./сут (6360 м³/сут),
- в) 60 000 барр./сут (9570 м³/сут),
- г) 80 000 барр./сут (12 720 м³/сут),
- д) 100 000 барр./сут (15 900 м³/сут).

**ФАКТЫ**

**529,47**

млн рублей

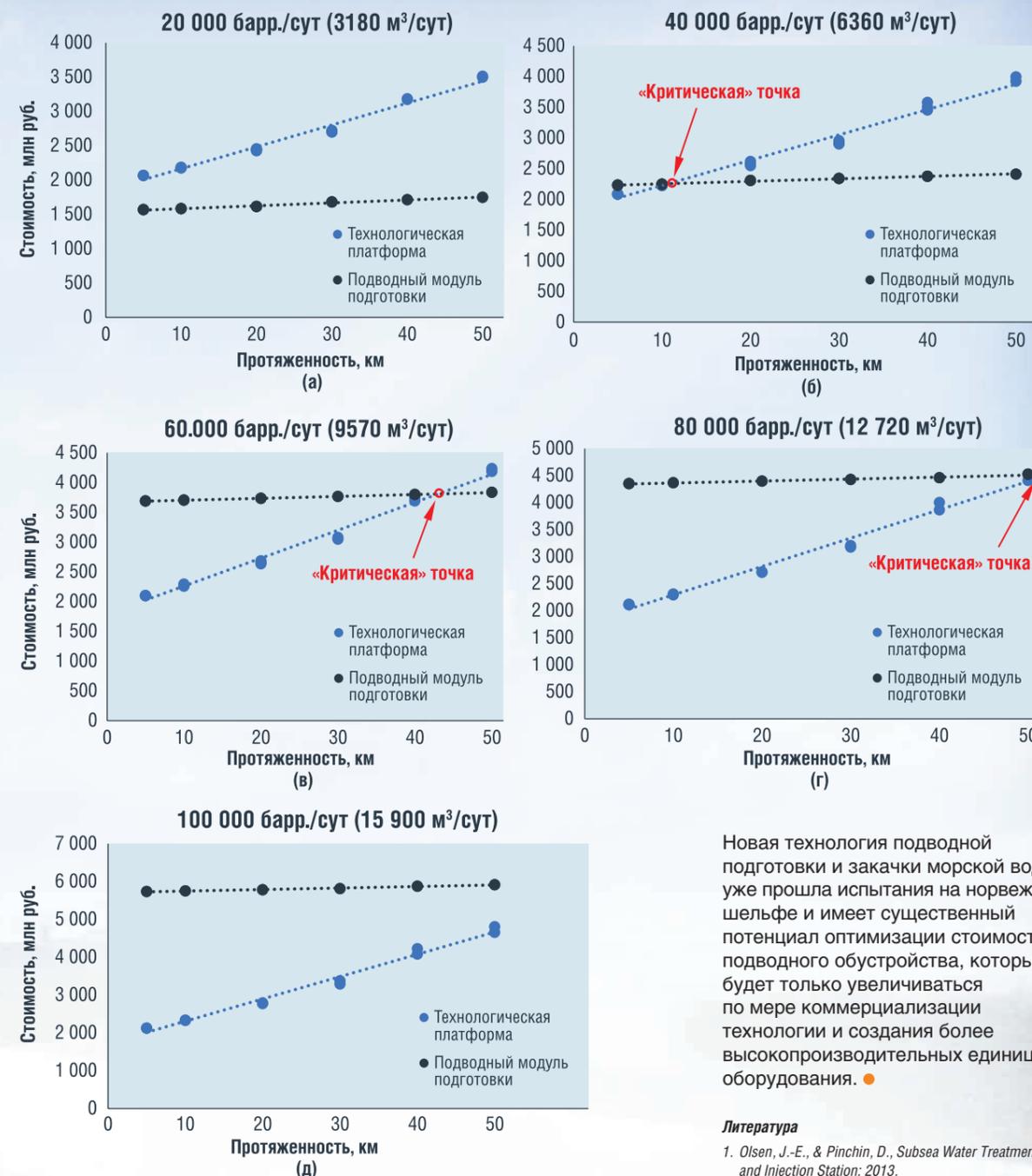
стоимость комплекса подготовки воды SEABOX

При каждом объеме закачки посчитан как вариант подводного обустройства, так и модернизация системы ППД с прокладкой трубопровода на расстояние от 5 до 50 км. По полученным стоимостям построены линии тренда, при пересечении которых находится «критическая» точка.

**Вывод**

Таким образом, опираясь на графики стоимости строительства, а именно – на расположение критической точки, можно сделать вывод, что подводный модуль подготовки воды эффективнее модернизации платформы и строительства водовода в следующих случаях:

РИС. 1. Оценка стоимости строительства



- а) при закачке до 20 000 барр./сут (установка 1 SEABOX и 1 SSPP Centrifugal) на любом расстоянии от платформы;
- б) при закачке до 40 000 барр./сут (установка 2 SEABOX и 2 SSPP Centrifugal) от 10,7 км;
- в) при закачке до 60 000 барр./сут (установка 3 SEABOX и 3 SSPP Centrifugal) от 43,0 км;
- д) при закачке до 80 000 барр./сут (установка 4 SEABOX и 4 SSPP Centrifugal) от 52,4 км.

**ФАКТЫ**

**Технология**

подводной подготовки воды прошла испытание на норвежском шельфе

Новая технология подводной подготовки и закачки морской воды уже прошла испытания на норвежском шельфе и имеет существенный потенциал оптимизации стоимости подводного обустройства, который будет только увеличиваться по мере коммерциализации технологии и создания более высокопроизводительных единиц оборудования. ●

**Литература**

1. Olsen, J.-E., & Pinchin, D., *Subsea Water Treatment and Injection Station: 2013.*
2. Valdal, M. B. L., *Plug and Abandonment Operation Performed Riserless using a Light: 2013, University of Stavanger.*
3. Дзюбло А.Д., *Нефтегазоносность и геолого-геофизические модели шельфа Российской Арктики и Дальнего Востока: 2018, ИЦ РГУ нефти и газа.*
4. T. Hegdal, D. Pinchin, *Subsea Water Treatment and Injection for IOR and EOR: 2014, Offshore Technology Conference.*
5. Finn Olvind Fevang, *Analysis of method for increased field knowledge prior to the field development: 2017, University of Stavanger.*
6. Мирзоев Д.А. *Нефтепромысловые сооружения для освоения углевод. ресурсов мелков. шельфа: 2020, ИЦ РГУ нефти и газа.*

KEYWORDS: oil and gas field development, shelf, subsea production system, reservoir pressure maintenance, water treatment.

# РЕЗИДЕНТНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

## как эффективный инструмент обеспечения подводных газо- и нефтепромыслов

**Маевский Андрей Михайлович**

АО «НПП ПТ «Океанос», ФГБОУ ВО ЮФУ,  
ФГБОУ ВО СПбГМТУ

**Занин Владислав Юрьевич**

АО «НПП ПТ «Океанос»

РАСТУЩИЙ МИРОВОЙ СПРОС НА НЕФТЬ И ГАЗ В КОМПЛЕКСЕ С ИСТОЩЕНИЕМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ИСТОРИЧЕСКИ СЛОЖИВШИХСЯ РАЙОНАХ ДОБЫЧИ, ПРИВОДИТ НЕФТЯНУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ К ЗАДАЧАМ, СВЯЗАННЫМ С РАБОТАМИ В ГЛУБОКОВОДНЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАЧАСТУЮ РАСПОЛАГАЮТСЯ ВСЕ ДАЛЬШЕ ОТ БЕРЕГА, ЧТО ВЫЗЫВАЕТ КАЧЕСТВЕННО НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ, ЛОГИСТИЧЕСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ. В ИТОГЕ ПЕРЕД НЕФТЕГАЗОВЫМИ КОМПАНИЯМИ СТАВЯТСЯ ЕЩЕ БОЛЕЕ СЛОЖНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ И В ПЕРСПЕКТИВЕ НА ОКЕАНИЧЕСКОМ ДНЕ

*THE GROWING GLOBAL DEMAND FOR OIL AND GAS, COMBINED WITH THE DEPLETION OF DEPOSITS IN HISTORICALLY ESTABLISHED PRODUCTION AREAS, IS DRIVING THE OIL INDUSTRY TO THE CHALLENGES ASSOCIATED WITH OPERATIONS IN DEEP AND HARD-TO-REACH AREAS OF THE WORLD'S OCEANS. PROMISING DEPOSITS ARE OFTEN LOCATED FURTHER AND FURTHER FROM THE COAST, WHICH CAUSES QUALITATIVELY NEW TECHNICAL, LOGISTIC, ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS. AS A RESULT, OIL AND GAS COMPANIES FACE EVEN MORE DIFFICULT TASKS IN ORGANIZING THE DISCOVERY AND PROVISION OF MINING ON THE CONTINENTAL SHELF AND, IN THE LONG TERM, ON THE OCEAN FLOOR*

Ключевые слова: *робототехника, глубоководная добыча, подводные комплексы, шельф, удаленное управление.*

### Актуальность развития морской резидентной робототехники

Освоение ресурсов Мирового океана, в частности глубоководных месторождений углеводородов [1], является сложной комплексной задачей, требующей решений не только в плоскости инженерии и подводно-технических работ. Повышенное внимание в современных условиях к вопросам экологии и эффективности уже оказывает значительное влияние на технико-экономические обоснования перспективных проектов и текущую деятельность по существующим месторождениям на самых разных стадиях разведки и эксплуатации. Морские операции переживают период «цифровизации» [2]. Усложняется и детализируется само планирование морских операций, вернее сказать моделирование, где ведущую роль играет анализ рисков [3], для корректного проведения которого теперь недостаточно просто океанологических данных, а необходимы данные оперативной океанологии, позволяющие ориентироваться уже не только в крупномасштабных, но и в мезомасштабных и тонкоструктурных полях движений вод [4]. На наших глазах уходят в прошлое технологии массового применения обитаемых надводных стационарных платформ со всей сопутствующей свитой технологий обеспечения и сотнями человек задействованного персонала непосредственно в морских условиях. Все шире из опытной [5] в коммерческую [6, 7] эксплуатацию переходят робототехнические технологии как в самой, теперь уже донной, инфраструктуре месторождений, так и в инновационных средствах обеспечения, смещая «человеческий фактор» в комфортный уют береговых центров, причем начиная с самых первых шагов месторождения как такового [8–10] и не заканчивая его последним продуктивным дном, переходя в длительное мониторинговое сопровождение [11, 12].

В мировой практике использование подводных добывающих комплексов (ПДК) в донной инфраструктуре месторождений [13–15] нашло

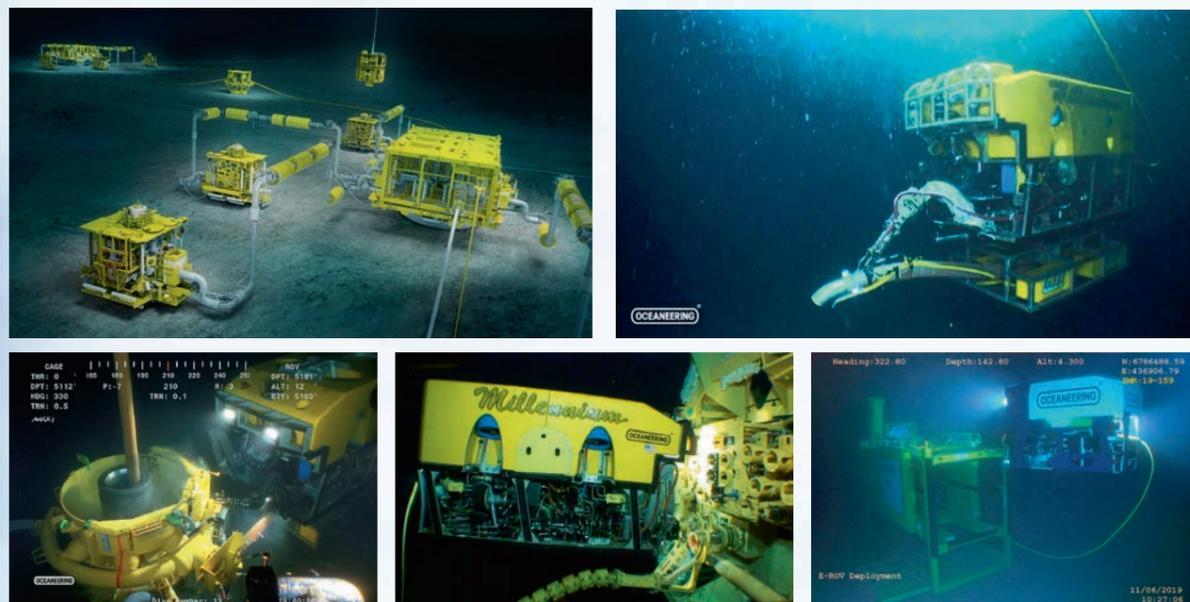
### ФАКТЫ

На **130**

морских месторождениях в 2016 г. уже применялись подводные технологии добычи углеводородов

широкое применение: к 2016 г. уже насчитывалось более 130 морских месторождений, где применялись подводные технологии добычи углеводородов. Эта технология основывается на системе подводного заканчивания скважин, устья которых располагаются на морском дне, и дополняется различными донными технологическими устройствами (сепараторы, компрессоры и т.д.). Например, на континентальном шельфе Норвегии внедрены технологии подводной добычи на месторождениях Снэвит и Ормен Ланге. По классической схеме освоения данных месторождений сначала большой объем работ, выполнявшихся с использованием научно-исследовательских судов (НИС), с которых экспедиционным методом долго и дорого велись океанографические, экологические, сейсмические, геотехнические исследования, гидрографическая съемка рельефа дна, далее шли освоение, ввод в эксплуатацию и сама эксплуатация с безусловно широким задействованием различных образцов уникальных и специализированных судов обеспечения и робототехники – телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов (ТНПА) рабочего и осмотрового классов, дистанционно управляемых инструментов. Пример выполнения работ типичными ТНПА на донной инфраструктуре представлен на рисунке 1.

РИС. 1. Вид подводной инфраструктуры месторождения и сервисных ТНПА



При этом и НИС, и конструкционным судам, и судам обеспечения ТНПА обычно приходилось терять время на мобилизацию/демобилизацию, транзит на расстоянии 100 и более миль, работу с удержанием позиции или штурманские в ожидании погодного окна, сжигая тонны и тонны топлива, расходуя моторесурс и повышая себестоимость проекта. Совокупность стоимости обслуживающего судна, работ операторов ТНПА и времени необходимого для выполнения работ ведет к высоким временным и экономическим расходам. Общие инвестиции на 2014 год составили более 50 миллиардов долларов [16, 17] (включая береговой завод по подготовке газа). И это все еще с учетом экологической и технологической нормативной базы «до позеленения энергетики». Как следствие, сегодня, в эпоху волатильности цен на углеводороды, необходимы такие технологии, которые повышали бы производительность при одновременном сокращении затрат на выполнение работ. И на том же Ормен Ланге реальным выходом стала роботизация, в частности полная передача функций мониторинга морского дна в районе месторождения (давление, температура, геометрии (наклонов, просадки) морского дна), как элемента управления месторождением автоматическим донным станциям, образующим посредством гидроакустической связи и безэкипажной дистанционно управляемой надводной платформы сетевой интернет вещей с выходом через спутниковый радиоканал на береговой центр управления [18, 19].

На этом же принципе сетевых технологий и в абсолютно тех же самых целях участники проекта Ормен Ланге в лице компаний Royal Dutch Shell и Equinor развили в практическую плоскость технологии подводных резидентных систем морской робототехники.

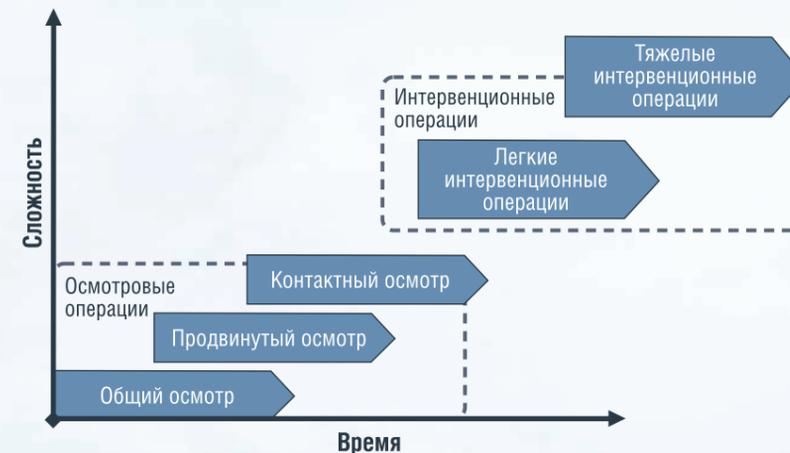
### ФАКТЫ Резидентная робототехника

— новейший класс морских робототехнических комплексов, предназначенных для постоянного функционирования на акватории с базированием на подводные доковые станции

### Резидентная робототехника – современный тренд в области освоения шельфовых месторождений

Резидентная робототехника – новейший класс морских робототехнических комплексов (МРТК), предназначенных для постоянного функционирования на акватории с базированием на подводные доковые станции, обеспечивающие подзарядку, смену инструментария и конфигурации аппарата в зависимости от типа планируемой миссии, коммуникации с береговым или судовым центром управления. Подводные резидентные системы являются самым развивающимся и востребованным направлением морской робототехники в мире [20–22]. Основой подводных резидентных систем является разработка интервенционных необитаемых аппаратов, как правило гибридных исполнений (ТНПА/АНПА), отличающихся своей многофункциональностью и высоким уровнем интеллектуализации, а также имеющих целый ряд сопутствующих технологий, обеспечивающих процесс длительного функционирования аппаратов в экстремальной морской среде.

РИС. 2. Сложность различного типа подводных операций



Резидентная робототехника может быть включена как в состав донной инфраструктуры нефтегазового месторождения, в том числе с базированием МРТК на донные или расположенные в водной толще доковые станции, имеющие энергетические и командные коммуникации с объектами надводной (коммуникационные или энерго-коммуникационные буи, безэкипажные дистанционно управляемые надводные платформы, суда) или береговой инфраструктуры, так и в экологические и океанологические обсерватории, также задействованные в технологиях морской газо- и нефтедобычи [23]. Управление резидентным МРТК обеспечивается частично дистанционно через доковые станции, подводные ретрансляторы и/или на основе встроенных интеллектуальных адаптивных систем, обеспечивающих автономное функционирование с учетом адаптивности, реконфигурируемости и взаимодействия с другими роботами (элементы групповой технологии). Операции, выполняемые такого рода аппаратами, носят название «интервенционные», что буквально

**ФАКТЫ**  
Интервенционные  
необитаемые  
аппараты,  
как правило, гибридных  
исполнений отличаются  
многофункциональностью  
и высоким уровнем  
интеллектуализации

означает «воздействие или работу с неким объектом». Класс сложности данных операций крайне велик ввиду многочисленности факторов неопределенности, начиная с недетерминированности среды функционирования МРТК, заканчивая сложной внутренней системой сопряженного взаимодействия манипулятор – ТНПА/АНПА.

Как видно из рисунка 2, авторами выделены основные типы выполняемых АНПА задач: задачи, содержащие в себе операции осмотрового типа, и задачи, состоящие из «интервенционных» операций [24]. Так, к интервенционным задачам робототехники можно отнести условно «легкие» задачи, связанные с работой манипуляторного комплекса с гидравлическими разъемами и поворотными клапанами, с подключением/отключением электрических кабелей ПДК, очисткой разъемов, пробурением жидкостей/грунта и прочее. К условно «тяжелым» операциям относятся задачи, связанные с заменой сменных модулей ПДК, переключением дроссельных модулей, строительные и ремонтные работы.

О результатах интенсивной работы в области проектирования и применения подводных резидентных аппаратов [25–28] свидетельствуют фотографии разработанных резидентных систем, представленные на рисунке 3.

РИС. 3. Интервенционные ТНПА/АНПА резидентного базирования

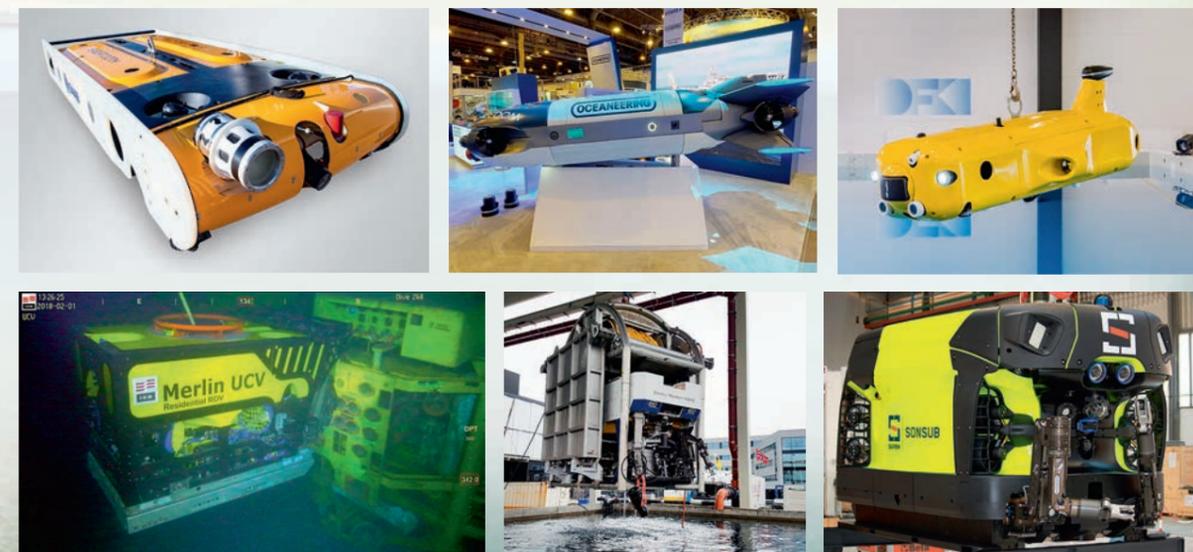


РИС. 4. Унифицированная донная доковая станция и реально апробированные варианты размещения резидентных ТНПА/АНПА



Как уже отмечалось, наличие доковых станций для резидентных аппаратов является необходимым фактором, расширяющим имеющийся функционал и увеличивающим потенциал от применения данных ТНПА/АНПА. Доковые базовые станции это:

- основные элементы глобальных информационных сетевых структур для исследования и наблюдения за Мировым океаном в различных целях;
- платформы-носители приборных систем и комплексов (способны вести исследования и мониторинг непосредственного окружения в режиме реального времени);
- унифицированные силовые и информационные узлы для подводной техники различных типов, производителей, в т.ч. автономных необитаемых аппаратов, подводных глайдеров и т.д.

Большинство станций имеет собственный приборный отсек с процессинговым модулем, высокоскоростной канал цифровой проводной или беспроводной (4G) связи с береговым центром управления, бесконтактные разъемы электропитания (для подключения и подзарядки различных типов аппаратов) и т.д., как приведенный на рисунке 4 проект унифицированной донной доковой станции Blue Logic.

### Отечественное направление исследований и разработок в сфере резидентной робототехники

На данный момент в РФ ведется активное обсуждение вопроса развития подводной робототехники и сопутствующих технологий. Программы инновационного развития

## ФАКТЫ Управление МРТК

обеспечивается частично дистанционно через доковые станции, подводные ретрансляторы и/или на основе встроенных интеллектуальных адаптивных систем

ПАО «Газпром» имеют соответствующие пункты, подтверждающие необходимость разработки и внедрения технологий «освоения нефтегазовых объектов на шельфе с использованием подводных добычных систем» и «подводных робототехнических комплексов для контроля технического состояния объектов обустройства морских месторождений».

АО «НПП ПТ «Океанос» совместно с ФГБОУ ВО СПбГМТУ с 2012 года ведет инициативную последовательную разработку ряда инновационных проектов, направленных на развитие сферы резидентной робототехники [20–23]. Подводный глайдер и манипулятор, волновой глайдер, кастомизированные ТНПА, а также направление морских групповых технологий обеспечивают всесторонне интеграцию имеющихся наработок в единый комплекс резидентной робототехники. С 2018 года кооперация работ с научными предприятиями ООО «Световые системы» и АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» позволила реализовать комплексную разработку первого отечественного демонстратора технологии легкого интервенционного АНПА [29] с системой беспроводной подводной оптической связи высокой производительности, изображенного на рисунке 5.

Существующий демонстратор технологий ЛИ АНПА оснащен пятиступенным манипуляторным комплексом с электромеханическим приводом [30] собственной разработки, способным в автоматическом и автономном режиме выполнять широкий спектр технических задач в нефтегазовой отрасли и работах по освоению ресурсов океана. Задачи, обрабатываемые на демонстраторе технологий: мониторинг подводной обстановки, подводные осмотровые и инспекционные работы, операции по управлению и обслуживанию донных объектов с помощью манипуляторного комплекса, выполнение работ по забору фракций грунта и иных образцов. Для успешного решения поставленных задач, на борту ЛИ АНПА реализованы системы гидроакустической навигации, технического зрения, беспроводной

РИС. 5. Демонстратор технологий легкого интервенционного АНПА

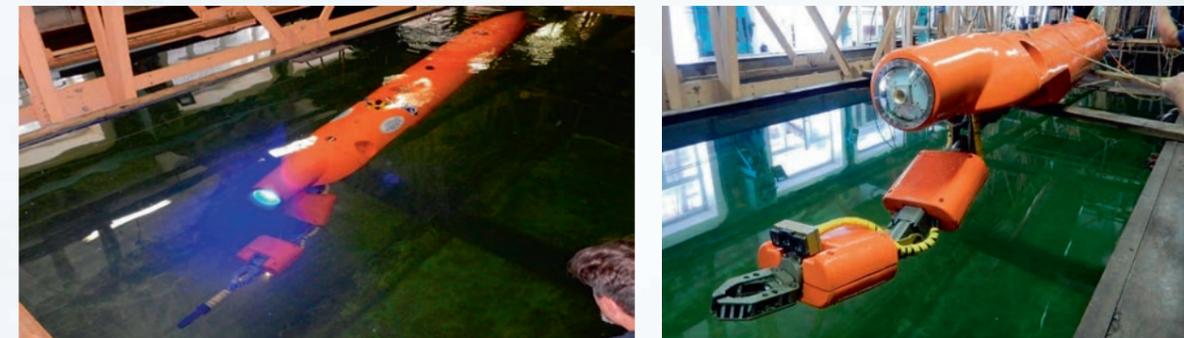
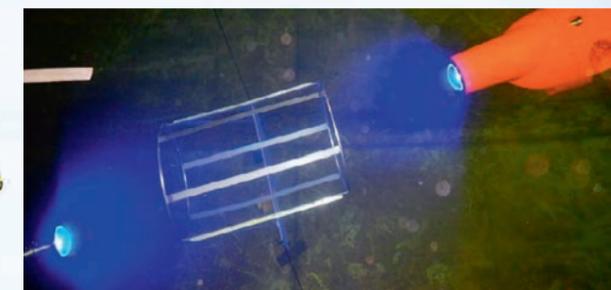
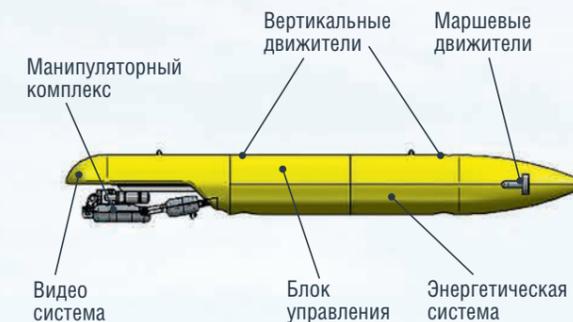


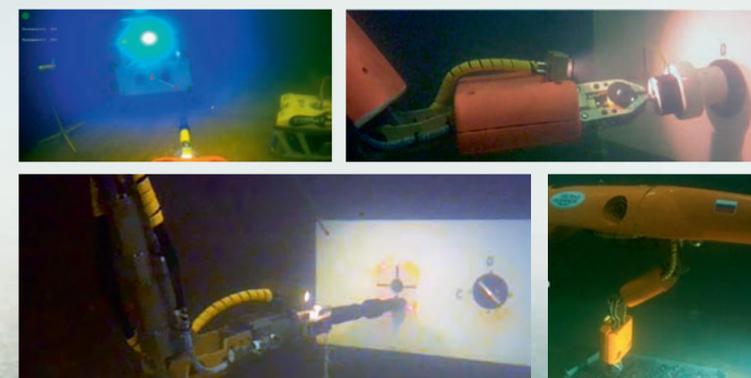
РИС. 6. Демонстратор технологий ЛИ АНПА и работа его системы беспроводной подводной оптической связи в процессе отработки докования



подводной оптической связи, которая позволяет передавать информацию на скорости до 20 мбит/с, адаптивная программно-модульная система управления аппаратом, система бездвойстикового управления МК и другие [31]. Аппарат способен работать как в дистанционном проводном/беспроводном, так и автономном режимах, что необходимо в практических задачах резидентной робототехники (рисунок 6).

С целью апробации разработанных технологий были проведены натурные испытания, исследования и показы на полигоне подводной робототехники испытательного бассейна ФГБОУ ВО СПбГМТУ [32], отраженные на рисунке 7. В ходе испытаний были проведены следующие работы:

РИС. 7. фотофиксация с экспериментов по работам демонстратора технологий ЛИ АНПА с макетами донных панелей ПДК и процесс забора грунта



## ФАКТЫ

# 2018

В 2018 г. разработан первый отечественный демонстратор технологии легкого интервенционного АНПА с системой беспроводной подводной оптической связи высокой производительности

- выполнение дистанционной работы МК на макете подводной панели ПДК (с учетом передачи данных видео системы и телеметрии ЛИ АНПА через оптический канал связи);
- выполнение автоматизированных работ МК на макете подводной панели ПДК (с учетом работы системы технического зрения);
- выполнение работ по автоматическому выходу ЛИ АНПА и удержанию целевой позиции в процессе выполнения работ по забору грунта;
- выполнение работ по удержанию позиции ЛИ АНПА и/или исполнительные степени манипуляторного комплекса в заданной позиции в недетерминированной среде (с учетом внешних возмущающих воздействий).

Таким образом, успешное выполнение подобных операций в автономном и автоматизированном режиме в рамках представленных результатов, демонстрирует научную и практическую ценность и актуальность разработанной программно-аппаратной системы. Модульность разработанной системы позволяет производить

РИС. 8. Работа гетерогенных групп АНПА с сопряженной системой удаленного контроля и управления



мобильную реконфигурацию системы управления верхнего и среднего уровня, дополнять список выполняемых задач и вносить корректировки в уже поставленные миссии.

Разработка данного демонстратора лежит в общем плане работ по разработке единой комплексной системы океанологической обсерватории/сервисной станции, которая включает в себя использование групп разнородных МРТК и донных многофункциональных океанографических обсерваторий [33, 34], представленных на рисунке 8.

На наземном пункте удаленного контроля и управления осуществляются работы по диагностике систем необитаемых аппаратов, находящихся в доке сервисной станции, анализируются данные выполненных миссий, формируется база данных полученной информации. Ведется контроль информации от сенсорной базы выносных приборов океанографических обсерваторий, данных мониторинга и проверок состояния ПДК,

РИС. 9. Совместный эксперимент ФГБОУ ВО СПбГУ ГПС МЧС России и АО «НПП ПТ «Океанос» с участием Выборгского отделения Центра ГИМС ГУ МЧС России по Ленинградской области по отработке удаленного контроля и управления ТНПА типа Н-300 на акватории Приморской учебно-научной базы ФГБОУ ВО СПбГМТУ



## ФАКТЫ

# ЛИ АНПА

оснащен пятиступенным манипуляторным комплексом с электромеханическим приводом, способным в автоматическом и автономном режиме выполнять широкий спектр задач

получение данных телеметрии групп аппаратов, находящихся в процессе выполнения поставленных задач. Еще одним важным моментом пункта контроля и управления является возможность осуществления прямого удаленного управления аппаратом, в случае выполнения сервисных работ манипуляторным комплексом в районе ПДК или выполнения задачи стыковки аппарата с доковой станцией. Для этого АО «НПП ПТ «Океанос» была реализована система удаленного контроля и управления резидентной робототехникой на основе системы дальней связи LoRa.

Практическая работа системы связи была успешно апробирована в процессе проведения натурного эксперимента в морских условиях по удаленному управлению ТНПА в целях мониторинга подводных потенциально опасных объектов (ППО). В рамках испытания блок управления и оператор ТНПА располагались на береговом пункте, а спуско-подъемная система и рабочее тело ТНПА находились на безэкипажной надводной платформе на базе шлюпки Ял-4П, находящейся в 250 м от берега. Благодаря разработанной системе было выполнено успешное дистанционное управление ТНПА, получена вся сервисная информация с телеметрии аппарата. Иллюстрации с натурного эксперимента приведены на рисунке 9.

## Заключение

Развитие области морской робототехники в РФ ни у кого не вызывает сомнений. Целый ряд нерешенных проблем и крайняя необходимость расширения функциональных возможностей уже имеющихся технологий неизбежно приведут к росту производства и спросу на интеллектуальные подводные робототехнические системы. Проведенный анализ показал, что в РФ имеется целый ряд документов, содержание которых направлено на разработку и реализацию проектов, которые смогли бы удовлетворить потребность нефтегазовой отрасли в применении МРТК.

Работы, проведенные АО «НПП ПТ «Океанос», демонстрируют возможность применения разработанных технологий и систем в задачах обеспечения и обслуживания систем нефтегазодобычи. Применение резидентных технологий открывает возможности для круглогодичной работы на континентальном шельфе в арктических условиях в течение длительного времени без привязки к ледовым условиям. Сложные алгоритмы управления являются адаптируемыми и интеллектуальными, что позволяет осуществлять безопасное взаимодействие и функционирование в неизвестной (или частично известной) морской динамически изменяющейся среде.

Предложенный концепт-проект донной многофункциональной океанографической обсерватории с базированием резидентной робототехники позволит обеспечить решение проблемы круглогодичного мониторинга океанологических и экологических задач и круглогодичной эксплуатации донной нефтегазовой инфраструктуры в условиях ледовой обстановки Арктического региона, а также в свете снижения операционных расходов на подобные работы и вне Арктического региона, будет востребован и на внешнем рынке. А разработанная концепция системы удаленного контроля и управления позволит сократить затраты на выполнение мониторинговых и сервисных работ. ●

## Литература

1. «Рост рынка глубоководных работ на шельфе Западной Африки» 2019. <https://oceanos.ru/news/345> (дата обращения: 28.10.2021).
2. «Technology, digitalisation and innovation» 2021. <https://www.equinor.com/en/what-we-do/digitalisation-in-our-dna.html> (дата обращения: 27.10.2021).
3. Голядкина С.С., Харченко Ю.А., «Анализ рисков морских операций с помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов» 2020. Газовая промышленность № 3 (798) – с. 34–37.
4. Жильцов Н.Н. «Современное состояние и перспективы развития оперативной океанологии в целях обеспечения ВМФ» // Материалы научной конференции «Перспективы развития Гидрографической службы Военно-морского флота до 2030 года». – 2017. – Записки по гидрографии № 301. – С. 16–24.
5. «Oceanering Announces Contract with Statoil for E-ROV Concept Development and Testing» 2017. <https://www.oceanering.com/oceanering-announces-contract-statoil-e-rov-concept-development-testing/> (дата обращения: 27.10.2021)
6. «Norwegian Minister of Petroleum and Energy Kjell-Børge Freiberg visits IKM Subsea» 2017. <https://www.ikm.com/news/norwegian-minister-of-petroleum-and-energy-kjell-borge-freiberg-visits-ikm-subsea-2017> (дата обращения: 27.10.2021)
7. «Oceanering Announces Equinor Contract Award for E-ROV Services» 2018. <https://investors.oceanering.com/financial-press-releases/press-release-details/2018/Oceanering-Announces-Equinor-Contract-Award-for-E-ROV-Services/default.aspx> (дата обращения: 27.10.2021)
8. «Подводные глайдеры в поисках углеводородов» 2018. <https://oceanos.ru/news/276> (дата обращения: 28.10.2021)
9. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Тарадонов В.С., Блинков А.П., Кожемякин И.В., Токарев М.Ю., Бириков Е.А. Концепция роботизированной подводной сейсмозаземки в подледных акваториях // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018. – С. 64–87.
10. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Вести газовой науки, (2(39)), 2019. С. 29–40.
11. Daniel O.B. Jones, Andrew R. Gates, Veerle A.I. Huvenne, Alexander B. Phillips, Brian J. Bett «Autonomous marine environmental monitoring: Application in decommissioned oil fields» Science of the Total Environment, 2019. [www.elsevier.com/locate/scitotenv](https://www.elsevier.com/locate/scitotenv) (дата обращения: 29.10.2021).
12. Маевский А.М., И.А. Печайко, С.А. Турсенев Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // «Проблемы управления рисками в техносфере». № 2, 2021.
13. «Подводный добычный комплекс» <https://sahalin-shelf-dobycha.gazprom.ru/about/technologies/pdk/> (дата обращения: 29.10.2021).
14. «Statoil's subsea factory tackles the power source hurdle» <https://www.offshore-mag.com/subsea/article/16758571/statoils-subsea-factory-tackles-the-power-source-hurdle> (дата обращения: 29.10.2021).
15. «Invisible platforms» <https://www.equinor.com/en/magazine/the-final-frontier.html> (дата обращения: 29.10.2021).
16. «Ormen Lange Gas Field Project, North Sea Northern» <https://www.offshore-technology.com/projects/ormen-lange-field/> (дата обращения: 29.10.2021).
17. «Ormen Lange Accrued Investments in Nominal NOK» <https://www.norskpetroleum.no/en/facts/field/ormen-lange/> (дата обращения: 29.10.2021).
18. «Ormen Lange Gas Field. Seismic survey and seafloor monitoring» <https://www.nseenergybusiness.com/projects/ormen-lange-gas-field/> (дата обращения: 29.10.2021).
19. «Remotely-operated surface vessel compiles Ormen Lange seafloor data» 2020. <https://www.offshore-mag.com/geosciences/article/14174730/remotely-operated-surface-vessel-compiles-ormen-lange-seafloor-data> (дата обращения: 29.10.2021).
20. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета. 2019. – с. 83–98.
21. Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года. М., Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп» 2019. – С. 14–22.
22. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка морских робототехнических комплексов с перспективой применения в качестве резидентной робототехники, на примере проектной работы по разработке линейки АНПА «Глайдер – Гибридный Глайдер – I-AUV» Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Севастополь, 22–26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. – Севастополь: ФБУН МГИ. – Режим доступа: [http://mhi-ras.ru/news/news\\_201904151055.html](http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html), свободный, 2019. – С. 395–398.
23. Волошин С.Б., Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны. – Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 года. – М., Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2020. – С. 62–77.
24. I. C. da Cunha Lima, A. T. da Cunha Lima, G. da Silva Costa, M. P. Almeida, A. Ruiz and M. Reis, «Effects of torque produced by wake on the maneuverability of a flatfish autonomous underwater vehicle», OCEANS 2017 – Anchorage, 2017, pp. 1–4.
25. B. Johansson, J. Siesjö and M. Furuholm, «Seaeye Sabertooth A Hybrid AUV/ROV offshore system», OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE, 2010, pp. 1–3, doi: 10.1109/OCEANS.2010.5663842.
26. Delaney, J.R., D.A. Manalang, A. Marburg, A. Nawaz, and K. Daly. Report of the Resident AUV Workshop, 9–11 May 2018. APL-UW TR 1901, Technical Report, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, March 2020, 84 pp
27. D. Ribas et al., «I-AUV Mechatronics Integration for the TRIDENT FP7 Project», in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 5, pp. 2583–2592, Oct. 2015, doi: 10.1109/TMECH.2015.2395413.
28. N. Palomeras et al., «I-AUV docking and intervention in a subsea panel», 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014, pp. 2279–2285, doi: 10.1109/ROSL.2014.6942870.
29. «Резидентная робототехника» [https://oceanos.ru/resident\\_general](https://oceanos.ru/resident_general) (дата обращения: 29.10.2021).
30. «Подводный манипуляторный комплекс» [https://oceanos.ru/manip\\_general](https://oceanos.ru/manip_general) (дата обращения: 29.10.2021).
31. «Безджойстикое управление» [https://oceanos.ru/resident\\_nojoystick](https://oceanos.ru/resident_nojoystick) (дата обращения: 29.10.2021).
32. <https://oceanos.ru/news/338> (дата обращения: 29.10.2021).
33. Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. «Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт» Морские информационно-управляющие системы № 1 (17), 2020. – с. 94–102.
34. Маевский А.М., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. «Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным АНПА на основании поведенческих методов» Известия ЮФУ. Технические науки Izvestiya svedu. engineering sciences. № 1 (211), – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. – С. 119–134.

KEYWORDS: gas-liquid mixture (GLM), gas bubble, electric submersible pump (ESP).

# ВЫДЕЛЕНИЕ ЛИТИЯ

## на газоконденсатных месторождениях

**Ковалева Дарья Александровна**

магистрант кафедры газохимии

**Карпов Алексей Борисович**

старший преподаватель кафедры газохимии

**Козлов Андрей Михайлович**

доцент кафедры газохимии,  
к.т.н.

**Ростовцев Вадим Олегович**

старший преподаватель кафедры  
промышленной экологии

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

ЛИТИЙ ЯВЛЯЕТСЯ ЦЕННЫМ СЫРЬЕМ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ, НО В СВЯЗИ С РОСТОМ ЦЕН НА ЛИТИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ ГОСУДАРСТВАМ БЕЗ СОБСТВЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛИТИЯ НЕОБХОДИМО ИСКАТЬ ПУТИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ДОБЫЧИ. ТЕМ НЕ МЕНЕЕ ПЛАСТОВАЯ ВОДА НЕКОТОРЫХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРСПЕКТИВНЫМ ИСТОЧНИКОМ ДОБЫЧИ ЛИТИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ, И РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИТИЯ В ПЛАСТОВОЙ ВОДЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕОБХОДИМА ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ ДАННОГО СЫРЬЯ

LITHIUM IS A VALUABLE RAW MATERIAL FOR HIGH-TECH INDUSTRIES, BUT DUE TO THE RISE IN PRICES FOR LITHIUM AND ITS COMPOUNDS, STATES WITHOUT THEIR OWN LITHIUM DEPOSITS NEED TO LOOK FOR WAYS FOR INDEPENDENT PRODUCTION. NEVERTHELESS, THE FORMATION WATER OF SOME GAS CONDENSATE FIELDS IS A PROMISING SOURCE OF PRODUCTION OF LITHIUM AND ITS COMPOUNDS, AND THE DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHODS FOR DETERMINING LITHIUM IN THE FORMATION WATER OF GAS CONDENSATE FIELDS IS NECESSARY TO CONSIDER THE POSSIBILITY OF EXTRACTING LITHIUM FROM THIS FEEDSTOCK

Ключевые слова: литий, атомно-абсорбционная спектрометрия, пластовая вода газоконденсатных месторождений.

Литий – первый щелочной металл в периодической таблице, это самый легкий серебристо-белый мягкий металл с низкой температурой плавления. Многие из его физических и химических свойств больше похожи на свойства щелочноземельных металлов, чем на свойства его собственной группы.

Наиболее важными свойствами лития являются его высокая удельная теплоемкость, огромный температурный диапазон жидкогоагрегатного состояния, высокая термическая проводимость, низкая вязкость и очень низкая плотность. Литий принимает участие в огромном количестве реакций как с органическими, так и с неорганическими реагентами.

Основное соединение лития – гидроксид лития. Карбонат используется в гончарной промышленности и в медицине как антидепрессант, а бромид и хлорид лития образуют концентрированные рассолы, которые обладают свойством поглощать влагу в широком интервале температур – эти рассолы используются также в системах кондиционирования воздуха.

В основном литий в промышленности используется в форме стеарата лития в качестве загустителя консистентных смазок. Другие важные области применения соединений лития – керамика, глазури для фарфора, добавка для увеличения срока службы и производительности щелочных аккумуляторных батарей, а также при сварке латуни. Сплавы лития с алюминием, кадмием, медью и марганцем используются для изготовления деталей самолетов с высокими эксплуатационными характеристиками.

За счет своих особенных свойств, литий нашел применение во многих сферах производства. Литий и его соединения также широко применяются в производстве термоэлектрических материалов (сульфиды меди и лития известны как одни из лучших полупроводников, предназначенных для изготовления термоэлектродпреобразователей), изготовлении лазерных материалов (для этих целей чаще всего используют фторид лития, лазеры и оптика, при изготовлении которых используют соединения лития, являются более дорогостоящими), в производстве пиротехники (для получения красного цвета огней), в ядерной энергетике (литий имеет высокую теплоемкость, поэтому металл используется в качестве теплоносителя).

### ФАКТЫ

Li

применяется для производства аккумуляторов, для изготовления высокоэффективных лазеров, в дефектоскопии, как оптический материал в радиоэлектронике и других отраслях

Как следствие, литий и его соединения присутствуют на мировых биржах, и, учитывая, что литий необходим крупным высокотехнологичным производствам, спрос на этот металл растет с каждым годом. В последний год цена на него начала расти впервые за последние несколько лет [1].

В настоящее время литий добывают по двум технологиям: выделяя металл из рассолов концентрированием или из минералов. Сегодня большая часть коммерческого лития извлекается из рассолов в Чили, а мировая добыча литиевых руд и солей составляет около 40 тыс. т в год, причем запасы оцениваются примерно в 7 млн т [2].

Литий добывают по двум технологиям: выделяя металл из рассолов концентрированием или из минералов. Сегодня большая часть коммерческого лития извлекается из рассолов в Чили, а мировая добыча литиевых руд и солей составляет около 40 тыс. т в год, причем запасы оцениваются примерно в 7 млн т

В мире из рассолов добывается до 60% общего объема соединений лития, к тому же экономические издержки первичного обогащения лития в растворах значительно ниже, чем при получении лития из пермагнитов. Учитывая, что на реализацию любого проекта по добыче лития из минералов с нуля потребуется значительное количество усилий и ресурсов, так как необходимо не только строительство химико-металлургического комплекса, но и самого комплекса по добыче металла, более актуально в первую

очередь рассматривать добычу лития из пластовых вод газоконденсатных месторождений, при которой не требуются затраты на извлечение рассола для дальнейшей переработки.

Исходя из актуальности востребованности лития в промышленности, становится ясно, что для любого государства, которое желает иметь высокотехнологичные производства, было бы предпочтительным добывать и производить в товарном виде высокочистый литий самостоятельно.

Пластовая вода газоконденсатных месторождений – это смесь различных компонентов, содержащая, в том числе, соединения лития. Соответственно, ее можно применять для его промышленной добычи, если концентрация литиевых соединений будет достаточна для экономически выгодного выделения. Известно, что ряд газоконденсатных месторождений России может содержать достаточное количество лития для выделения его в чистом виде и существуют методики добычи лития из рассола, поэтому создание новых методов извлечения лития не потребует, однако первоначально необходимо создание аналитической методики определения лития в газоконденсате и пластовой воде.

Одним из методов определения присутствия лития в пластовой воде месторождений в достаточном количестве для выделения в чистом виде является пламенный или электротермический методы атомно-абсорбционной спектроскопии. Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС) – это аналитический метод измерения малых концентраций. Например, пламенный метод атомно-абсорбционной спектроскопии позволяет определять потенциальное содержание элемента в растворе с пределом обнаружения до 0,02 мкг/л.

В этом методе используются световые волны с длиной волны, специально поглощаемой элементом. Они соответствуют энергиям, необходимым для продвижения электронов с одного энергетического уровня на другой, более высокий энергетический уровень.

Можно проводить измерения соединений лития и в газовом конденсате, но в пластовой воде соединения лития растворяются значительно лучше, чем в газовом конденсате. Пламенный метод атомно-абсорбционной спектроскопии используется для более высоких концентраций вещества в пробе, и из-за необходимых для целесообразности выделения значительных концентраций лития в пластовой воде целесообразно именно его использование. Более низкие концентрации могут быть измерены с использованием электротермической атомизации [3].

В качестве примера было произведено измерение концентрации лития в пластовой воде одного из газоконденсатных месторождений России. Для точного расчета концентрации лития в пробе пластовой воды использовался метод калибровочной кривой с использованием четырех градуировочных растворов, также готовился контрольный раствор иной концентрации.

В пересчете на водный раствор концентрация соединений лития оказалось равной 231 мг/л, что можно считать достаточным для организации производства по выделению этого ценного металла.

## ФАКТЫ

Более

50%

запасов лития в России сосредоточено в редкометалльных месторождениях Мурманской области

## Мировой рынок лития

в основном состоит из американских, азиатских и австралийских производителей

## Заключение

Важнейшим приоритетом государственной сырьевой политики Российской Федерации в отношении редкоземельных металлов является импортозамещение и создание редкометаллических производств полного цикла на основе национальной минерально-сырьевой базы. Существующая зависимость российской экономики и промышленности от импорта редкоземельных металлов несет серьезную угрозу национальной безопасности [4].

Исходя из вышеперечисленных свойств лития и его соединений, можно сделать вывод, что необходимо провести анализ содержания лития как на новых газоконденсатных месторождениях, так и на действующих. Такие исследования могут быть использованы для подбора более эффективного метода очистки газового конденсата, а также для подбора и оптимизации режимов эксплуатации скважин.

При обнаружении достаточной концентрации лития в пластовой воде и газовом конденсате на месторождениях необходимо будет провести комплексный технико-экономический анализ для перспективного строительства установок по концентрации литиевых растворов прямо на промыслах и завода по производству соединений лития, которые наиболее востребованы атомной, медицинской, энергетической промышленностью. ●

### Литература

1. Литий. Торговая экономика. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/lithium> (дата обращения: 01.10.2021).
2. Добыча лития: твердая порода (пермагнит) или солевой раствор – что лучше? URL: <https://sharespro.ru/> (дата обращения: 01.10.2021).
3. Карпов А.Б., Кондратенко А.Д., Козлов А.М. Современные методы анализа газов и газоконденсатов. Лаб. практ. СПб.: Изд-во «Лань», 2018. 120 с.
4. Распоряжение Правительства РФ. Стратегия развития отрасли редких и редкоземельных металлов Российской Федерации на период до 2035 года URL: [https://minpromtorg.gov.ru/docs/#strategiya\\_razvitiya\\_otrasli\\_redkih\\_i\\_redkozemelnyh\\_metallov\\_rossiyskoy\\_federacii\\_na\\_period\\_do\\_2035\\_goda](https://minpromtorg.gov.ru/docs/#strategiya_razvitiya_otrasli_redkih_i_redkozemelnyh_metallov_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2035_goda) (Дата обращения: 01.10.2021).

KEYWORDS: *lithium, atomic absorption spectrometry, reservoir water of gas condensate fields.*

**ENSO** ВНЕДРЕНИЕ  
ИННОВАЦИЙ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ  
САММИТ**  
ЦИФРОВИЗАЦИЯ

**24 НОЯБРЯ 2021**  
**МОСКВА**



РЕКЛАМА

☎ 8 (800) 707-81-49 ☎ 8 (812) 701-00-48 ✉ [info@ensoenergy.org](mailto:info@ensoenergy.org)

# «ТРЕСТ КОКСОХИММОНТАЖ»

## более 90 лет в промышленном строительстве



В УСЛОВИЯХ ПАДЕНИЯ СПРОСА НА ТРАДИЦИОННЫЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОТРАСЛЕВЫЕ ЭКСПЕРТЫ ВИДЯТ НОВЫЙ ИМПУЛЬС ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЭК. ЭТО ПОНИМАЮТ ПРЕДСТАВИТЕЛИ КАК БИЗНЕС СООБЩЕСТВА, ТАК И ВЛАСТИ, ПОЭТОМУ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ В ЖИЗНИ ОТРАСЛИ НАМЕТИЛСЯ ЗАМЕТНЫЙ ПОДЪЕМ: ПОЯВЛЯЮТСЯ НОВЫЕ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ПРОИЗВОДСТВА ПО СЖИЖЕНИЮ ГАЗА, МОДЕРНИЗИРУЮТСЯ И УВЕЛИЧИВАЮТСЯ МОЩНОСТИ НПЗ. КАК СЕГОДНЯ РАЗВИВАЕТСЯ ОДНО ИЗ ВЕДУЩИХ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ, СТРОЯЩЕЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ? РАССКАЗЫВАЕТ ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АО «ТРЕСТ КОКСОХИММОНТАЖ» ГЕОРГИЙ ЛОФИЦКИЙ

*IN THE FACE OF FALLING DEMAND FOR TRADITIONAL ENERGY RESOURCES IN THE PETROCHEMICAL AND PROCESSING INDUSTRIES, INDUSTRY EXPERTS SEE A NEW IMPETUS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX. THIS IS UNDERSTOOD BY REPRESENTATIVES OF BOTH THE BUSINESS COMMUNITY AND THE AUTHORITIES, THEREFORE, IN RECENT YEARS, THERE HAS BEEN A NOTICEABLE RISE IN THE LIFE OF THE INDUSTRY: NEW GAS PROCESSING ENTERPRISES AND GAS LIQUEFACTION PLANTS APPEAR, OIL REFINERIES ARE BEING MODERNIZED AND EXPANDED. HOW IS ONE OF THE LEADING RUSSIAN ENTERPRISES DEVELOPING TODAY, WHICH HAS BEEN BUILDING PRODUCTION FACILITIES FOR THE PETROCHEMICAL COMPLEX OF RUSSIA FOR MORE THAN 90 YEARS? GEORGY LOFITSKY, FIRST DEPUTY GENERAL DIRECTOR OF TRUST KOKSOKHIMMONTAZH JSC REPORTS*

Ключевые слова: нефтехимическое предприятие, строительство и монтаж, оборудование для НПЗ, импортозамещение, социальные программы.



**Лофицкий Георгий Николаевич**  
первый заместитель  
генерального директора  
АО «Трест Коксохиммонтаж»

– На одном из совещаний по развитию нефтегазовой отрасли В. Путин отметил, что российские «производители способны не только обеспечить внутренние потребности в качественной продукции, но и занять более весомые позиции на глобальном рынке». Чтобы это стало возможным, в стране должны работать предприятия, обладающие в равной степени большим опытом и современными технологиями в строительстве объектов нефтегазовой отрасли. Относится ли к таким предприятиям «Трест Коксохиммонтаж»?

– «Трест Коксохиммонтаж» – это предприятие, сумевшее сохранить компетенции, которые были основной

специализацией во времена СССР и в то же время освоить новые для себя направления в промышленном производстве. Во времена Советского Союза управленческая система Министерства монтажных и специальных строительных работ всегда была вертикально подчиненной. Но жесткого запрета на принятие решений на местах – в трестах и СМУ – не было. Это накладывало колоссальную ответственность за правильность каждого решения, принятию которого предшествовала череда возможных вариантов и тщательное взвешивание всех «за» и «против». Такая, заданная министерством, система позволяла отбирать думающих

и ответственных сотрудников в каждом звене управленческой цепи – от высшего руководства до рядовых специалистов. «Трест Коксохиммонтаж» в этом плане не стал исключением. Правильно принятые решения, соответствующие духу времени, ситуации на рынке и потребностям хозяйственной жизни страны, позволили предприятию не только сохранить компетенции в сооружении традиционных для себя производств, но и расширить их.

В частности, направление сооружения коксохимических и химических производств – базовая специализация предприятия – востребована и в настоящее время. Сегодня в России строятся мощности, по уровню не уступающие самым передовым зарубежным.

Но при этом время показало, что узкоспециализированным строительным предприятиям гораздо сложнее следовать текущим потребностям рынка. Поэтому необходимо диверсифицировать направления производственной деятельности.

– Как происходил процесс диверсификации в АО «Трест Коксохиммонтаж», какие новые виды деятельности были освоены?

– В начале 90-х годов ситуация в стране изменилась. В то время ни металлургическая, ни химическая промышленность не обладали свободными средствами для инвестирования в строительство новых профильных производств. Чтобы остаться на плаву, строительные компании должны были освоить новые для себя направления производственной деятельности. Это коснулось и «Треста Коксохиммонтаж», специалисты которого освоили новые производственные направления – резервуаростроение и сооружение перевалочных комплексов. В то время это было востребовано. Затем было освоено сооружение нефтеперерабатывающих производств, обустройство НГКМ, производств СПГ. Пришлось стать универсальными строителями, в широком смысле этого слова, и не растерять при этом уже имеющиеся компетенции.

– Любое строительство, будь то строительство резервуара или обустройство месторождения, всегда связано со своевременной комплектацией работ необходимыми материалами. Как решается вопрос со своевременными поставками?

– Часть необходимых материалов производят собственные производственные мощности, расположенные в разных регионах России. Это позволяет минимизировать затраты и снизить зависимость от возможных негативных внешних факторов. Поэтому развитие собственных производственных мощностей жизненно необходимо. Кроме того, рост производственных мощностей в регионах присутствия в свою очередь обеспечивает занятость местных сотрудников.

– Всегда ли удается найти квалифицированные кадры, особенно если производство расположено в малонаселенных отдаленных районах, что в случае нефтегазовых предприятий случается довольно часто?

– Действительно, вопрос, касающийся сотрудников рабочих специальностей, очень непростой, в отличие от инженерно-технических кадров, система обучения и повышения квалификации которых выстроена годами. Состав инженерно-технических работников, как правило, формируется еще на стадии обучения в профильных вузах или из линейных сотрудников, например бригадиров, которые в действующих условиях реальных производств под присмотром опытных наставников превращаются в настоящих профессионалов. Безусловно, еще преждевременно говорить об отсутствии дефицита специалистов, но ситуация последовательно улучшается.

– Работа на стройплощадке даже для опытного специалиста не всегда бывает безопасной. Что делается для минимизации рисков, связанных с охраной здоровья работников?

– Вопросы обеспечения охраны труда и промышленной безопасности на объектах

стоят в числе первых в списке приоритетов компании. Проверкой выполненной работы по обеспечению соблюдения всех правил ОТ и ПБ становятся традиционные Дни безопасности, проводимые на различных строительных площадках объектов, где трудятся подразделения треста.

– География работ АО «Трест Коксохиммонтаж» охватывает самые отдаленные уголки страны, население которых зачастую нуждается в особой поддержке. Реализуете ли вы благотворительные проекты?

– С приходом в новый регион завязываются дружеские отношения с местными организациями – детскими садами, школами, храмами, и руководство считает для себя естественным в меру сил помогать им. В последние годы это приобрело системный характер и стало идеологией компании.

Участие в благотворительных проектах, помощь детям, пенсионерам, людям с ограниченными возможностями и другим мало защищенным группам населения – это часть идеологии компании «Трест Коксохиммонтаж».

«Трест Коксохиммонтаж» – частная, на 100 процентов российская компания, основанная в 1930 году с численностью трудового коллектива более 10 тысяч человек, с представительствами во многих промышленных регионах. Компания входит в 500 крупнейших компаний России по объему реализации продукции, по версии рейтинга РБК-500 (октябрь 2020).

В состав холдинга входят проектный институт, более 25 строительно-монтажных организаций, предприятия по изготовлению металлоконструкций.

KEYWORDS: petrochemical enterprise, construction and installation, equipment for refineries, import substitution, social programs.

# АРКТИЧЕСКИЕ ОСТРОВА

## как основные реперы для изучения геологического строения и оценки нефтегазоносности слабоизученных областей арктического шельфа

**Алексеева Александра Кирилловна**  
заведующий отделом нефтегазоносности  
Арктики и Мирового океана,  
К.Г.-М.Н.

**Косько Михаил Константинович**  
главный научный сотрудник,  
Д.Г.-М.Н.

**Турова Александра Владимировна**  
ведущий инженер  
ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

СДЕРЖИВАЮЩИМ ФАКТОРОМ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯВЛЯЕТСЯ ОТСУТСТВИЕ ПРЯМЫХ ДАННЫХ О ЛИТОЛОГИИ, СТРАТИГРАФИИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНОВ В ПРЕДЕЛАХ БОЛЬШИНСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ АРКТИКИ. В БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ НЕОБХОДИМО ВЫПОЛНИТЬ ПОЛЕВЫЕ РЕВИЗИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВАХ – СЕВЕРНАЯ И НОВАЯ ЗЕМЛЯ, НОВОСИБИРСКИЕ ОСТРОВА, ЧТО ПОЗВОЛИТ АКТУАЛИЗИРОВАТЬ МОДЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ, ПОЛУЧИТЬ НОВЫЕ ДАННЫЕ О СВОЙСТВАХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ СИСТЕМ И ПОВЫСИТЬ ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕСУРСНЫХ ОЦЕНОК НЕРАСПРЕДЕЛЕННОГО ФОНДА НЕДР НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

THE CONSTRAINT IN THE STUDY AND DEVELOPMENT OF HYDROCARBON RESOURCES IN THE ARCTIC ZONE IS THE LACK OF DIRECT DATA ON THE LITHOLOGY, STRATIGRAPHY AND OIL AND GAS CONTENT OF SEDIMENTARY BASINS WITHIN MOST OF THE PROSPECTIVE PETROLEUM AREAS OF THE ARCTIC. IN THE COMING YEARS, IT IS NECESSARY TO CARRY OUT FIELD REVISION AND ANALYTICAL WORK ON THE ARCTIC ISLANDS – SEVERNAYA AND NOVAYA ZEMLYA, NOVOSIBIRSK ISLANDS, WHICH WILL ALLOW UPDATING THE MODELS OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE, OBTAINING NEW DATA ON THE PROPERTIES OF OIL AND GAS SYSTEMS AND INCREASING THE RELIABILITY OF RESOURCE ESTIMATES OF THE UNALLOCATED SUBSOIL FUND ON THE ARCTIC SHELF

Ключевые слова: арктический шельф, количественная оценка ресурсов углеводородов, осадочный чехол, модели геологического строения, нефтегазоносные системы, острова Арктической зоны.

Арктика – одно из приоритетных направлений экономического развития страны на ближайшие десятилетия. При любых сценариях развития минерально-сырьевой базы для восполнения неизбежного падения добычи углеводородов необходимо активное вовлечение в разработку месторождений арктического шельфа.

Основным сдерживающим фактором изучения и освоения ресурсов углеводородов Арктической зоны является сохраняющаяся низкая степень изученности арктического шельфа, особенно его северных областей в пределах западного сектора и повсеместно для акваторий восточно-арктических морей. Это связано в первую очередь с прекращением с 1990-х годов параметрического бурения, завершением программы региональных опорных профилей (последние региональные

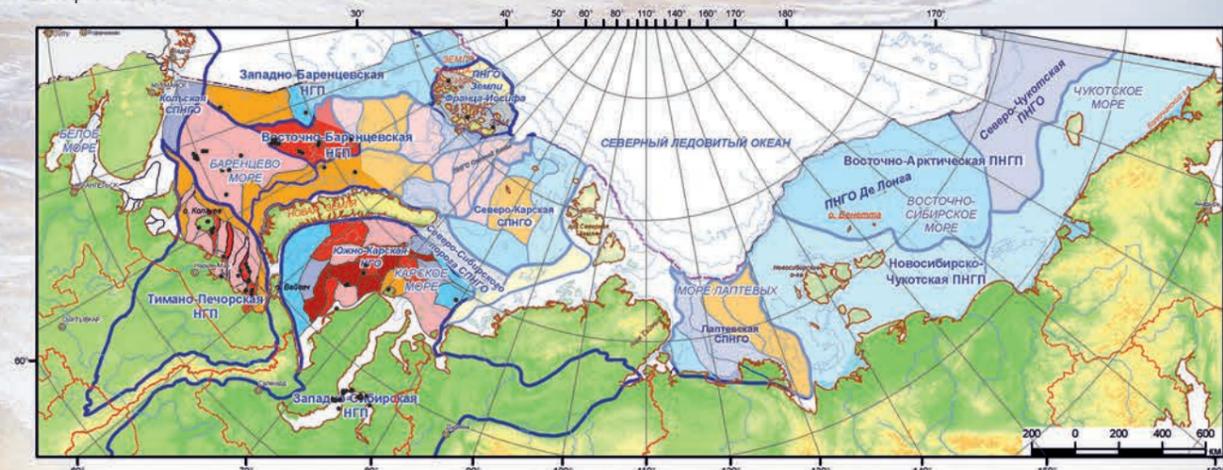
### ФАКТЫ Реперами

для изучения восточно-арктических акваторий являются острова Анжу, Де Лонга и о. Врангеля

опорные профили 5AP, 10M и 2ДВ-М выполнены в 2008–2010 гг.), отсутствием работ по обобщению цифровых геолого-геофизических материалов и построению согласованных моделей геологического строения и нефтегазоносных систем в пределах перспективных осадочных бассейнов.

Сложившееся положение не позволяет повысить достоверность количественной оценки ресурсов углеводородов на современном этапе работ (рис. 1), поскольку по сумме имеющейся геолого-геофизической информации для

РИС. 1. Перспективные нефтегазоносные области арктического шельфа с неопределенностями в строении осадочного чехла и нефтегазоносных систем



Условные обозначения:		Плотности ресурсов УВ категории D0-D (тыс. т УТ/кв. км)							
	границы НГП, ПНГП и СПНГО		> 200		30–50		5–10		< 1
	границы НГО, ПНГО и НГР, ПНГР		100–200		10–20		3–5		бесперспективные
	области, в которых бурение не проводилось		50–100		10–20		1–3		участки с невыявленными перспективами

большинства перспективных нефтегазоносных областей арктического шельфа – Северо-Карской самостоятельной перспективной нефтегазоносной области (СПНГО), Лаптевской СПНГО, Новосибирской, Южно-Чукотской, Северо-Чукотской ПНГО и ПНГО Де Лонга – корректность оценок плотностным методом вызывает сомнение, а применение математических методов имеет ряд существенных ограничений. Так, проведенные в последние два года тематические работы «ВНИИОкеангеология» по апробации технологии бассейнового моделирования и программного обеспечения TemisFlow (Beicip FranLab) показали, что применение этой технологии, являющейся стандартом в нефтегазовой отрасли и за рубежом, и в нашей стране, для построения моделей в пределах континентального шельфа ограничено многими допущениями и неопределенностями, связанными с отсутствием данных о стратиграфии, литологии, петрофизических и геохимических параметрах осадочного разреза. Необходимо признать, что использование современного математического инструмента и передового программного обеспечения не позволяет в настоящее время оценивать ресурсы большой части арктического шельфа и определять перспективные области на будущие десятилетия.

Такая ситуация обозначает наметившуюся стагнацию в изучении углеводородного потенциала основного резерва нашей страны – арктического континентального шельфа. В этих условиях необходимо искать нестандартные решения для преодоления сложившегося положения. На сегодняшний день необходимо признать, что в условиях высокой степени залицензованности арктического шельфа и действия западных экономических санкций положение с откладываемым параметрическим бурением ожидается будет сохраняться в обозримое время. Все это доказывает, что единственным источником

РИС. 2. Отряды Восточно-Сибирской комплексной партии в долине реки Балыктах (июль 1972 г., фото Н.С. Бондаренко)



## ФАКТЫ Реперами

для изучения северных областей западного сектора Арктики являются острова арх. Северная Земля, Новая Земля и Земля Франца-Иосифа

получения прямой геологической информации могут быть только площади арктических островов – важнейших реперов в изучении геологии Арктики.

Таковыми реперами для изучения стратиграфии, литологии, тектоники и нефтегазоносности слабоизученных восточно-арктических акваторий являются острова Анжу (о. Котельный), острова Де Лонга (о. Беннета) и о. Врангеля. Для неразрушенных северных областей западного сектора Арктики главными реперами в изучении разрезов осадочного чехла будут острова арх. Северная Земля (о. Октябрьской Революции, Пионер и Комсомолец), острова арх. Новая Земля и Земля Франца-Иосифа.

История изучения и освоения Арктики – это история великих открытий именно по островам арктических архипелагов. И это огромная, интереснейшая и не до конца раскрытая страница истории нашей страны. Занимаясь вопросами геологической изученности островов Анжу и Северной Земли, мы в полной мере ощущаем свою сопричастность к тем великим свершениям наших предшественников, положивших все силы и порою и собственные жизни во имя этих открытий и на благо Родины. В последние годы Русским географическим обществом многое сделано для устранения «белых пятен» в истории географических открытий в Арктике, однако, многое еще предстоит сделать для восстановления всех исчезнувших в истории имен исследователей Арктики.

Основополагающими исследованиями геологии Новосибирских островов следует считать результаты Русской полярной экспедиции под руководством Э.В. Толя на яхте «Заря». Несмотря на гибель летом 1902 г. Э.В. Толя, усилиями участника той легендарной экспедиции А.В. Колчака коллекции были доставлены на материк, и в дальнейшем К.А. Воллосович обобщил все геологические материалы и составил первую геологическую карту о. Котельного в масштабе 20 верст в дюйме. Долгие годы на этих данных о распространении разновозрастных отложений, характере дислокаций

РИС. 3. Маршруты Североземельской экспедиции НИИГА под руководством Б.Х. Егiazарова



и выводах о структурных особенностях архипелага и прилегающей суши базировались все обобщения по северу Восточной Сибири.

С образованием в 1948 году Научно-исследовательского института геологии Арктики (НИИГА) и далее на базе института объединения «Севморгеология» начался новый этап системного изучения арктических архипелагов (рис. 2). Необходимо подчеркнуть, что на сегодняшний день трудно переоценить значимость и уровень проведенных в 50-е и 70-е годы прошлого века мелкомасштабных геологических исследований (Д.А. Вольнов, Д.С. Яшин, Д.С. Сороков, Г.С. Ермолаев и др.) и групповых геологических съемок масштаба 1:200 000 (В.Л. Иванов, М.К. Косыко, Г.В. Труфанов, Н.С. Бондаренко, В.А. Виноградов и др.). Созданные в те годы геологические карты и отчетные материалы остаются единственной основой для наших представлений о геологии и нефтегазоносности бассейнов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского и Чукотского морей [4, 5].

История изучения островов Северной Земли не менее величественна и увлекательна, а порою столь же драматична. Первые данные о геологии архипелага получены в результате открытия в 1913 г. Гидрографической экспедиции Северного Ледовитого океана (ГЭСЛО) под руководством Бориса Андреевича Вилькицкого этой неизвестной земли, названной Тайвай по началу названий судов «Вайгач» и «Таймыр». Л.М. Старокадомским велись некоторые геологические наблюдения, однако за исключением южного и восточного берегов о. Большевик вся остальная часть архипелага еще долго оставалась «белым пятном». После Октябрьской революции у Советской республики появилась необходимость организации в срочном порядке экспедиции на острова Северной Земли для подтверждения приоритета СССР в изучении Арктического региона.

## ФАКТЫ

**70**  
в 70-е годы

проведена геологическая съемка островов Северной Земли масштаба 1:200 000

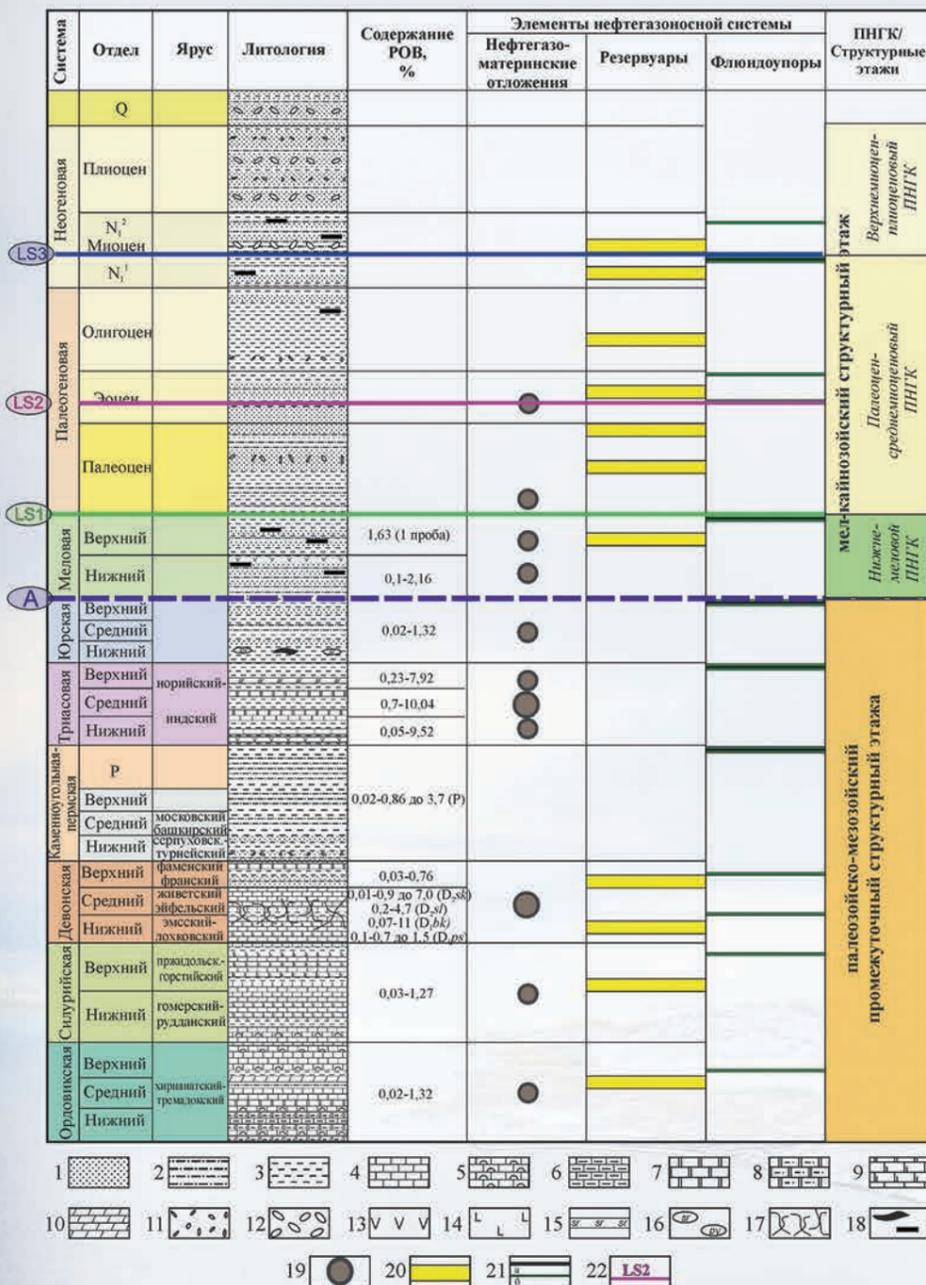
Честь обстоятельного изучения Северной Земли принадлежит участникам легендарной Североземельской экспедиции Севморпути, в ее состав входили всего четверо участников: Г.А. Ушаков – начальник экспедиции, Н.Н. Урванцев – геолог, С.П. Журавлев – каюр-промышленник и В.В. Ходов – радист. За два года Николаем Николаевичем Урванцевым было изучено геологическое и морфологическое строение Северной Земли с составлением топографической и гляциологической карт масштаба 1:7 500 000 и геологической карты масштаба 1:500 000 [12].

Планомерное и системное изучение островов Северной Земли совпало с образованием в том же году НИИГА и образованием Североземельской экспедиции под руководством выдающегося геолога Бориса Христофоровича Егiazарова (рис. 3). В результате этих работ составлена Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000 (Листы Т-У-46, 47, 48; Северная Земля), а в 1957 году вышел 81 том Геологии Советской Арктики с подробной характеристикой геологии Северной Земли [2, 3].

Системное изучение островов Северной Земли было продолжено партиями в составе НПО «Севморгеология» в 70-е годы с проведением групповой геологической съемки масштаба 1:200 000. Огромную роль в изучении геологии Северной Земли внесли геологи «Севморгеологии» – В.А. Марковский, А.Ф. Хапилин, Ю.Г. Самойлович, Л.Н. Петрунин, А.А. Макарьев и др., а также сотрудники лаборатории геологии нефти и газа Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института АН СССР Б.А. Клубов, Е.Н. Качанов и В.Н. Воропаев, детально изучившие разрезы силурийских и девонских пород на о. Пионер в районах установленных в 1950-е годы Б.Х. Егiazаровым битумопроявлений [9].

Резюмируя краткий обзор проведенных в прошлом веке геологических исследований и геолого-съемочных работ НИИГА и «Севморгеологии», необходимо подчеркнуть значимость

РИС. 4. Характеристика перспективных нефтегазоносных комплексов Лаптевской СПНГО (по ретроспективным данным ГГС-200 островов Анжу)



- 1 – песчаники, пески
- 2 – алевролиты, алевроиты
- 3 – аргиллиты, глины
- 4 – известняки
- 5 – известняки органогенные
- 6 – известняки глинистые
- 7 – доломиты
- 8 – доломиты алевролитистые
- 9 – доломиты вторичные
- 10 – мергели
- 11 – гравелиты
- 12 – конгломераты
- 13 – эффузивы и туфы
- 14 – базальты
- 15 – прослои сидерита
- 16 – конкреции сидерита (sr), пирита (py)
- 17 – брекчи
- 18 – линзы и прослои бурого угля
- 19 – нефтегазоматеринские породы
- 20 – терригенные коллектора
- 21 – флюидоупоры: а – региональные, б – локальные
- 22 – отражающие горизонты и их индекс

результатов для изучения геологии островов и во многом сохраняющуюся актуальность геологических карт как миллионного масштаба, так и по результатам ГГС-200. Проведенные на рубеже веков работы по созданию цифровых карт ГГК-1000 новой серии и ГГК-1000/3 носили исключительно камеральный характер и, на наш взгляд, не привнесли ничего нового для решения проблем в стратиграфии и тектоники арктических архипелагов как реперов для изучения шельфовых областей.

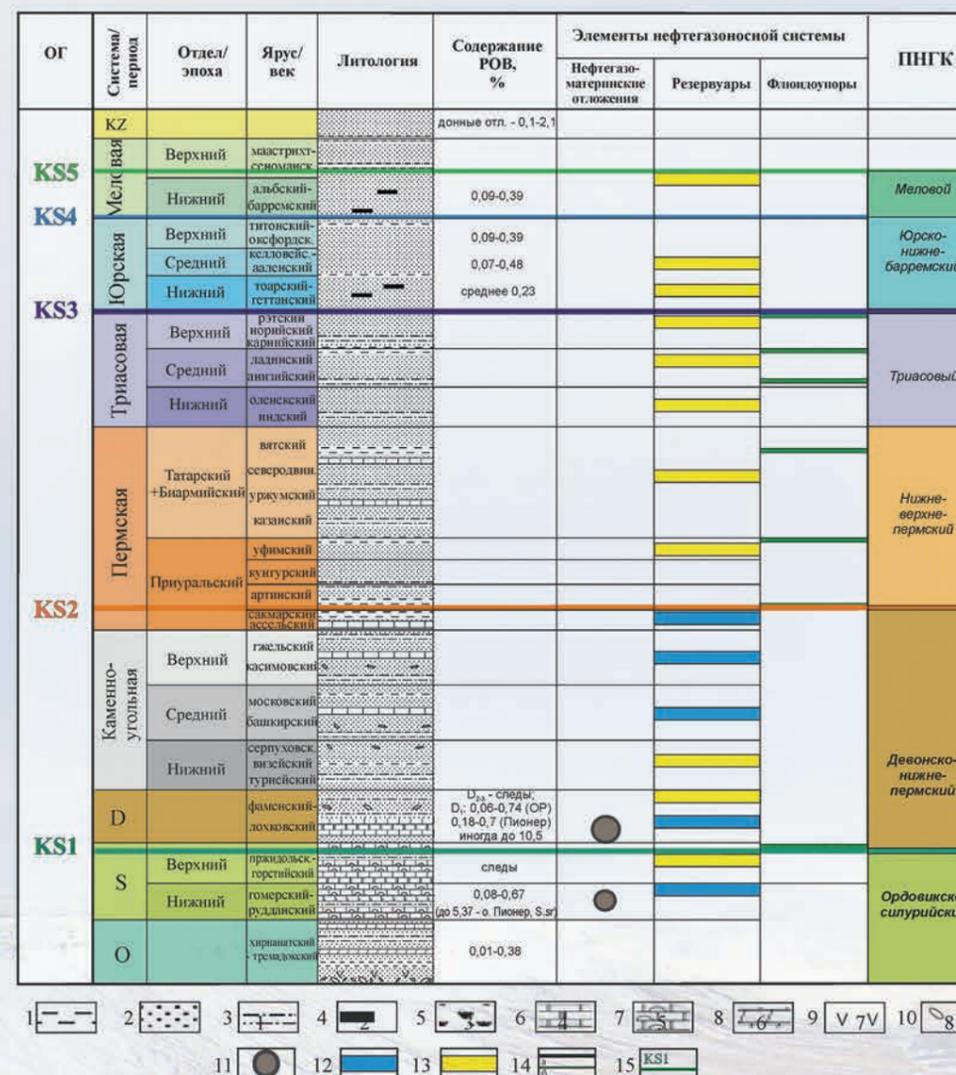
Необходимо констатировать, что имеющиеся результаты ГГК-1000/3 и ГГС-200/1 абсолютно недостаточны для современной

### ФАКТЫ Результаты

ГГК-1000/3 и ГГС-200/1 недостаточны для современной оценки нефтегазогенерационного потенциала осадочных толщ

литолого-стратиграфической характеристики неразбуренных осадочных бассейнов, оценки генетического типа РОВ и уровня его катагенеза, являющихся основными показателями нефтегазогенерационного потенциала осадочных толщ. Уровень проведенных в семидесятые годы геохимических исследований РОВ [7, 8] в настоящее время представляется весьма поверхностным, результаты специализированных геохимических исследований

РИС. 5. Характеристика перспективных нефтегазоносных комплексов Северо-Карской СПНГО (по ретроспективным данным ГГС-200 островов арх. Северная Земля)



- 1 – аргиллиты, глины
- 2 – песчаники, пески
- 3 – алевролиты, алевроиты
- 4 – битумопоявления
- 5 – туфопесчаники и туфоалевролиты
- 6 – известняки
- 7 – известняки органогенные
- 8 – мергели
- 9 – эффузивы и туфы
- 10 – конгломераты
- 11 – нефтегазоматеринские породы
- 12 – карбонатные коллектора
- 13 – терригенные коллектора
- 14 – флюидоупоры: а – региональные, б – локальные
- 15 – ОГ и их индекс

по оценке генетического типа РОВ и уровня его катагенеза (исследования биомаркеров) отсутствуют. Все это создает на сегодняшний день патовую ситуацию, когда отсутствие каменного материала для изучения его на основе современных аналитических методов будет и далее сдерживать изучение Арктики и неминуемо вести к стагнации научного и производственного процесса.

На рисунках 4 и 5 приведены разработанные во ВНИИОкеангеология характеристики элементов перспективных нефтегазоносных систем с обобщенными по материалам всех ретроспективных работ данными о литологии и геохимии разрезов. По этим характеристикам видно, насколько мы нуждаемся в получении качественно новых данных по литологии и геохимии палеозойских пород островов Северной Земли и палеозойско-мезозойских и в первую очередь – кайнозойских пород островов Анжу. За прошедшее время каменный материал коллекций утрачен, а в настоящее время появились технологически новые аналитические методы – абсолютная

### ФАКТЫ Новые аналитические методы:

абсолютная геохронология на основе изучения обломочных цирконов и трекв апатитов, электронная диагностика минералов, пиролиз, биомолекулярная геохимия

геохронология на основе изучения обломочных цирконов и трекв апатитов, электронная диагностика минералов, пиролиз, биомолекулярная геохимия. Необходимость новых полевых исследований на островах Арктической зоны продиктована этой сложившейся ситуацией. В последние годы «ВНИИОкеангеология» выполнил большой объем аналитических работ по имеющимся материалам, в том числе разработаны Атлас биостратиграфических данных по островам Анжу (в форме ГИС-проекта) и Альбом биостратиграфических данных по островам Северной Земли, сводные геологические карты в масштабе 1:500 000 и литолого-стратиграфические колонки [1, 10, 11].



# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АРКТИКИ

## Коррозионностойкая высокопрочная литейная хладостойкая аустенитная сталь для деталей и конструкций, используемых в высоких широтах и на шельфе

**Костина Мария Владимировна**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), доцент, д.т.н.

**Ригина Людмила Георгиевна**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), АО «Научно-производственное объединение "Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения" (ОАО НПО ЦНИИТМАШ), к.т.н.

**Мурадян Саркис Ованесович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), к.т.н.

**Костина Валентина Сергеевна**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), к.т.н.

**Кудряшов Александр Эдуардович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН)

ВОПРОС ВЫБОРА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ, ПРИОБРЕТАЕТ ОСОБУЮ АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В ЗОНЕ МОРСКОГО ШЕЛЬФА, ПОЭТОМУ К ТАКИМ МАТЕРИАЛАМ ПРЕДЪЯВЛЯЮТСЯ ПОВЫШЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ. В СТАТЬЕ ПРИВЕДЕНА ИНФОРМАЦИЯ О НОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА, РАЗРАБОТАННОЙ В ИМЕТ РАН. СТАЛЬ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНА К НАДРЕЗАМ, ПРЕВОСХОДИТ ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ В РФ ЛИТЕЙНЫЕ АУСТЕНИТНЫЕ СТАЛИ ПО ПРЕДЕЛУ ТЕКУЧЕСТИ, УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ И ТВЕРДОСТИ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ УМЕНЬШАТЬ ТОЛЩИНУ СЕЧЕНИЙ ОТЛИВОК БЕЗ УЩЕРБА ДЛЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

*THE ISSUE OF CHOOSING STRUCTURAL MATERIALS NECESSARY FOR LONG-TERM TROUBLE-FREE OPERATION OF MACHINES AND STRUCTURES IS OF PARTICULAR RELEVANCE IN THE PRODUCTION OF HYDROCARBON RAW MATERIALS IN THE OFFSHORE SHELF ZONE, THEREFORE, INCREASED REQUIREMENTS ARE IMPOSED ON SUCH MATERIALS. THE ARTICLE PROVIDES INFORMATION ABOUT A NEW CAST STEEL OF THE AUSTENITIC CLASS DEVELOPED IN BAIKOV INSTITUTE OF METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES. THE STEEL IS NOT SENSITIVE TO NOTCHES, IT SURPASSES THE CASTING AUSTENITIC STEELS USED IN THE RUSSIAN FEDERATION IN TERMS OF YIELD STRENGTH, IMPACT TOUGHNESS AND HARDNESS, WHICH MAKES IT POSSIBLE TO REDUCE THE THICKNESS OF THE SECTIONS OF CASTINGS WITHOUT COMPROMISING RELIABILITY AND DURABILITY*

Ключевые слова: литейная аустенитная сталь, коррозионностойкие материалы, добыча в Арктике, механические свойства, прочность, хладостойкость.

Материалы, используемые в конструкциях для работы на северном шельфе, подвергаются воздействию высоких статических, циклических, а зачастую и ударных нагрузок, коррозионному воздействию морского воздуха и воды; иногда – трению, приводящему к износу; большую часть времени они эксплуатируются при низких и очень низких температурах.

Последний фактор, действуя совместно со всеми перечисленными, может привести к достаточно быстрому разрушению материала узлов и конструкций. Это связано с хорошо изученной закономерностью: с понижением температуры прочность сталей, независимо от их структурного класса, возрастает, однако характеристики вязкости и трещиностойкости значительно снижаются [1], т.е. стали

охрупчиваются. Неправильный выбор материала чреват тем, что, например, ударное воздействие на конструкцию при низкой температуре вызовет быстрое катастрофическое распространение трещины, зародившейся в материале в критическом сечении под воздействием предшествующих циклических нагрузок. Особенно важен учет возможности низкотемпературного охрупчивания для изделий сложной формы, изготавливаемых методом литья, с крупными зернами, вытянутыми в направлении теплоотвода, где трещина может очень быстро распространяться именно по таким границам.

Сочетания свойств коррозионной и износостойкости с высокой прочностью при наличии аустенитной структуры можно достичь за счет легирования сталей

азотом [2–4]. Говоря о литейных сталях именно аустенитного класса, как наиболее коррозионностойких, следует отметить следующее. Зарубежными стандартами предусмотрено производство по крайней мере пяти литейных марок сталей аустенитного класса с содержанием азота 0,1–0,4% [4]. Это Cr-Mn-Ni, Cr-Mn-Ni-Mo, Cr-Ni-Mo стали с высоким содержанием никеля (от 9 до 25%), в структуре которых допускается до 20% феррита, с величиной эквивалента питтингостойкости ЭСП = PREN = %Cr + 3,3 · %Mo + 16 · %N до 30–34. (У обычной «нержавейки», легированной только 18% Cr, из числа указанных в этой формуле элементов, этот индекс равен соответственно лишь 18). Эти марки сталей способны обеспечить предел текучести  $\sigma_{0,2}$  вплоть до 290 МПа (против 196 МПа у стали 12X18H9ТЛ) за счет легирования азотом и повышения доли феррита в структуре стали, увеличивающего долю границ зерен в литом материале. В нашей стране известны разработанные к 1969 году марки литейных Cr-Mn-Ni-сталей аустенитного класса 0X20H4AГ10 (НН-3) и 0X18Г11Н4АФ (НН-3Ф), с концентрацией азота 0,4–0,55%, обеспечивающие предел текучести от 345 МПа, но с ЭСП ≤ 26 [5]. В стандарт РФ [6] на литейные стали данные марки сталей не включены, литье из них производится по специальным заказам, на основании выпущенной технической документации.

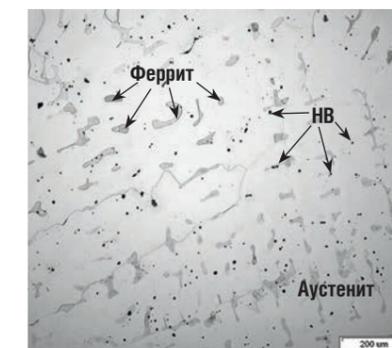
В статье приведена информация о новой литейной стали 05X21AГ15H8MФЛ с ~0,5% N, аустенитного класса, разработанной в ИМЕТ РАН [7]. По комплексу свойств она отличается от аустенитных азотосодержащих сталей, описанных в [4, 5] и аустенитных сталей, описанных в [6]. Исследования, проведенные в 2018–2020 гг., показали, что эта сталь обладает не только высокой прочностью, коррозионной и износостойкостью, что нами было показано ранее, но и является *свариваемым, хладостойким* материалом. На наш взгляд, такое сочетание свойств у стали аустенитного класса является уникальным и делает сталь 05X21AГ15H8MФЛ перспективным материалом для литых изделий сложной формы, с переменными сечениями и концентраторами напряжений, для длительной безотказной службы в регионах с температурами вплоть до нижнего порога климатических температур (принято считать, что это минус 70 °С). В статье содержатся, в т.ч., ссылки на собственные работы авторов в связи с необходимостью подтвердить методическую и научную достоверность приводимых данных.

### Литейно-технологические свойства стали 05X21AГ15H8MФЛ

Сталь подтвердила свои свойства как литейного материала, способного при заливке в форму хорошо заполнять тонкие сечения [8]. Она обладает высокой

жидкотекучестью, обусловленной наличием в ее составе марганца и азота. Она характеризуется температурами ликвидус  $t_L = 1385^\circ\text{C}$  и солидус  $t_S = 1330 \pm 1340^\circ\text{C}$ . На основе измерений температуры металла в процессе его кристаллизации и охлаждения в форме из ХТС был определен коэффициент затвердевания –  $K \approx 7,5 \text{ мм/мин}^{1/2}$ , рассчитано время затвердевания металла в сечениях литейной формы разной толщины, построена графическая зависимость, позволяющая при разработке технологии литья оценивать время затвердевания прибыльной части, стенок и узлов отливок [8].

РИС. 1. Микроструктура литой стали



### Структура и фазовый состав отливок

В ступенях плоской ступенчатой модельной отливки сечением от 1–2 до 40 мм была изучена структура отливок. Величина дендритного параметра (расстояния между осями дендритов второго порядка) в них изменялась от 5,56 до 47,5 мкм соответственно. Размер неравноосных литых зерен не оценивали, т.к., как правило, он был существенно больше 500 мкм (рис. 1). Наблюдали типичную крупнозернистую текстурированную структуру литого металла с характерными для строения слитков зонами. После гомогенизирующего отжига с охлаждением в воде в аустените присутствуют упрочняющие наноразмерные нитриды CrN (по данным просвечивающей электронной микроскопии), феррит (от ~0 до ~8%) и неметаллические включения (НВ) (рис. 1). Количество феррита в стали регулируется термообработкой [9]. Далее в статье свойства стали описаны именно для термически обработанного состояния.



УДК 669

**Статическая прочность. Чувствительность к надрезу и хладостойкость**

В этом разделе уместно напомнить, что размер зерна металла оказывает влияние на предел текучести, сопротивление хрупкому разрушению и температуру вязко-хрупкого перехода; измельчение зерна способствует снижению критической температуры хрупкости [10]. Однако металл изученных отливок был крупнозернистым (см. выше), и в отношении него механизм упрочнения согласно закону Холла-Петча (предел текучести обратно пропорционален квадратному корню из величины размера зерна) не эффективен. (Специальные известные методы для измельчения размера зерна при кристаллизации не применялись.)

Испытания на растяжение и ударный изгиб проводили согласно действующим в РФ стандартам. Сталь 05X21AG15H8MФЛ имеет высокий уровень механических свойств благодаря твердорастворному упрочнению азотом [9], причем не только при +20 °С (табл. 1). В таблице 1 приведены результаты ее испытаний на растяжение и

ударный изгиб при температурах от +20 до -70 °С (хладостойкость принято оценивать по изменению ударной вязкости образцов с надрезом с понижением температуры испытаний). Следует отметить, что эта сталь практически не чувствительна к острому надрезу. По данным проведенных нами исследований, средний уровень KCV<sup>+20</sup> = 240 Дж/см<sup>2</sup>, при этом разница в значениях между KCU и KCV (по результатам не менее 10 испытаний на точку для каждого вида надреза) не превышает разброса значений, характерного для литой структуры. Построение температурной зависимости ударной вязкости стали 05X21AG15H8MФЛ в интервале +20...-160 °С показало, что сталь характеризуется широким интервалом температур вязко-хрупкого перехода с температурой такого перехода, равной -75 °С, при которой KCV = 120 ± 10 Дж/см<sup>2</sup> (т.е. 1/2 от KCV<sup>+20</sup>) [11]. Эта литейная сталь не подвержена хладноломкости и при охлаждении до -70 °С. Большую роль в этом играет повышенная прочность упрочненного азотом аустенита, обеспечивающего предел текучести вдвое более высокий, чем у традиционных аустенитных литейных сталей (табл. 1).

Критической температурой хрупкости для нее признана температура -110 °С [11], т.к. при дальнейшем снижении температуры испытаний ударная вязкость достигает значений: KCV<sup>-140</sup> = 44 Дж/см<sup>2</sup>, KCV<sup>-160</sup> = 25 Дж/см<sup>2</sup>.

В таблице 1 приведены литературные данные по хладостойкости сталей сравнения. Поскольку сталь 05X21AG15H8MФЛ – сталь аустенитного класса, логично сравнение ее механических свойств со свойствами традиционных аустенитных литейных сталей. Однако, если деформируемые аустенитные стали – это криогенный материал, то в литейном варианте они в качестве хладостойких не рассматриваются [6, 10]. У стали 12X18H9ТЛ низкими являются и прочность, и ударная вязкость [6]; у стали 12X18H10Т<sup>1</sup>, не входящей в стандарт [6], в литом состоянии ударная вязкость более чем в два раза ниже, чем у стали 05X21AG15H8MФЛ при +20 °С, и низкая при температуре -196 °С [10]; ее ЭСП = 18 против 33 у стали 05X21AG15H8MФЛ. Хорошее сочетание прочности, пластичности и вязкости, высоких литейных свойств и коррозионной стойкости имеет свариваемая сталь 07X13Г28АНФЛ [10, 13], не входящая в стандарт. При -196 °С ее KCV = 90 Дж/см<sup>2</sup>, т.е. выше, чем у стали 05X21AG15H8MФЛ при -160 °С [11]. Однако сталь 07X13Г28АНФЛ при +20 °С имеет предел текучести 300 МПа и KCV = 140 Дж/см<sup>2</sup>, уступая стали 05X21AG15H8MФЛ по этим характеристикам. У нее также низкая питтингоустойчивость (ЭСП ≤ 14); она содержит очень много марганца (почти вдвое выше, чем у стали 05X21AG15H8MФЛ).

Если не требовать наличия у стали сравнения аустенитной структуры и удовлетвориться принадлежностью стали к числу коррозионноустойчивых при наличии прочности и хладостойкости, то можно провести

<sup>1</sup> Нам встретилось утверждение, что «в криогенной технике аустенитные стали 12X18H10ТЛ, 10X14Г14Н4ТЛ, 07X13АГ19Л применяют, несмотря на понижение вязкости из-за фазового превращения части аустенита в мартенсит» [12]. Однако и первая сталь 12X18H10ТЛ и остальные две стали нигде более в доступных источниках как литейные марки не фигурируют. Единственную достоверную информацию о механических свойствах стали 12X18H10Т в литом состоянии, в т.ч. при криогенной температуре, удалось найти в [10].

ТАБЛИЦА 1. Механические свойства стали 05X21AG15H8MФЛ и сталей сравнения

Сталь	Структурный класс стали	Свойства	Температура испытания, °С		
			-70	-40	20
05X21AG15H8MФЛ		σ <sub>0,2</sub> , МПа	558	506	403
		σ <sub>b</sub> , МПа	841	851	739
		δ/ψ, %	39/45	44/50	41/53
		KCU, Дж/см <sup>2</sup>	231	246	259
12X18H9ТЛ [6]	Аустенитная	σ <sub>0,2</sub> , МПа	–	–	196
		σ <sub>b</sub> , МПа	–	–	441
		δ/ψ, %	–	–	40/–
		KCU, Дж/см <sup>2</sup>	–	–	59
12X18H10ТЛ		σ <sub>0,2</sub> , МПа	530	При -196 °С	220
		σ <sub>b</sub> , МПа	885		575
		δ/ψ, %	17/13	66/56	
		KCU, Дж/см <sup>2</sup>	25	115	
08X15H4ДМЛ [10]	Мартенситно-аустенитная	σ <sub>0,2</sub> , МПа	–	–	589
		σ <sub>b</sub> , МПа	–	–	736
		δ/ψ, %	–	–	17,45
		KCV, Дж/см <sup>2</sup>	118***	115	98*; 125**

\* KCU, по данным [6]; \*\* KCV, по данным [10]; \*\*\* KCV, по данным [10], при -60 °С

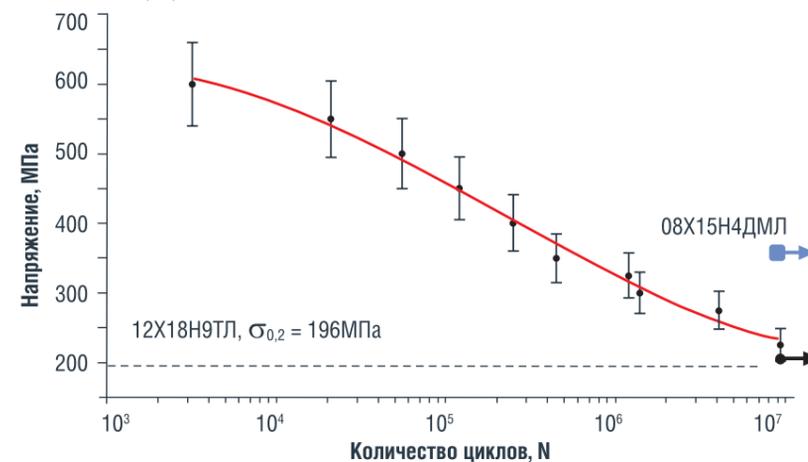
аустенитных литейных сталей: НВ<sub>ср</sub> = 204 (180 ÷ 213), тогда как для сталей 12X18H9ТЛ и 12X18H12M3ТЛ НВ<sub>ср</sub> = 156 (129 ÷ 183).

**Износостойкость.** Износостойкость при абразивном изнашивании в условиях сухого трения скольжения стали 05X21AG15H8MФЛ сравнивали<sup>4</sup> с таковой для стали Гадфильда (110Г13Л), остающейся эталоном износостойкости среди литейных сталей. Показано (см. таблицу 2), что она находится на одном уровне со сталью 110Г13Л. Азотистый аустенит с низкой исходной твердостью не претерпевает мартенситного превращения при изнашивании, но он обладает относительно высокой способностью к фрикционному упрочнению вследствие низкой энергии дефектов упаковки; на контактной поверхности формируется вторичная структура с достаточно высокой микротвердостью.

**Коррозионная стойкость.** Проводили исследования стойкости к межкристаллитной и питтинговой коррозии (МКК и ПК) стали 05X21AG15H8MФЛ с ~0,5% N [16, 17].

<sup>2</sup> Была проведена идентификация частиц НВ, оценено их возможное влияние на возможность способствовать зарождению и распространению трещин при испытаниях на ударный изгиб и растяжение при криогенных температурах.  
<sup>3</sup> Испытания были проведены с частотой 40 Гц в условиях повторного растяжения при асимметрии цикла R = 0,1 при комнатной температуре. Образцы представляли собой пластины толщиной 3 и длиной 100 мм с «корсетной» рабочей частью 3x10 мм. Образцы после изготовления были отшлифованы и отполированы на сушке.  
<sup>4</sup> Испытания проведены под руководством д.т.н., проф. М.А. Филиппова (УрФУ, г. Екатеринбург).  
<sup>5</sup> ε = ΔМЭ / ΔМ0, где ε – относительная износостойкость, ΔМЭ – потеря массы ст. 110Г13Л, ΔМ0 – потеря массы испытываемого образца.

РИС. 2. Кривая усталости литой термически обработанной стали 05X21AG15H8MФЛ и данные по сталям сравнения: аустенитной 12X18H9ТЛ (σ<sub>0,2</sub>) и мартенситно-аустенитной 08X15H4ДМЛ (σ<sub>-1</sub>)



сравнение со сталью 08X15H4ДМЛ [10], относящейся к мартенситно-аустенитному классу. Она является хладостойкой при климатических температурах и превосходит в силу наличия мартенсита аустенитную сталь 05X21AG15H8MФЛ по пределу текучести (но не по пределу прочности), уступая ей по ударной вязкости и пластичности (таблица 1), а также по величине ЭСП (≤ 18). Кроме того, эта сталь имеет ограниченную свариваемость.

**Влияние феррита и НВ в структуре стали 05X21AG15H8MФЛ на механические свойства и хладостойкость**

Следует отметить, что испытания на ударный изгиб при -160 °С в работе [11] были проведены на образце с максимальным количеством феррита, что негативно сказалось на полученном значении ударной вязкости. Было показано, что при этой температуре феррит в стали 05X21AG15H8MФЛ находится ниже порога хладноломкости, трещины зарождаются в осях 1 и 2 порядка ферритных кристаллов. Поэтому резервом повышения хладостойкости новой стали 05X21AG15H8MФЛ является получение литого металла без феррита, что возможно.

Негативного влияния частиц НВ в структуре этой литой стали на механические свойства не наблюдается, согласно результатам проведенного нами в 2020–2021 гг. исследования<sup>2</sup>.

Нами была также изучена циклическая прочность новой литейной стали 05X21AG15H8MФЛ в диапазоне напряжений от 225 до 600 МПа<sup>3</sup>, (рис. 2) [14]. В условиях малоциклового усталости (до ~N = 6 · 10<sup>4</sup> циклов) литая сталь 05X21AG15H8MФЛ не уступает горячедеформированному прототипу [15], а до ~N = 5 · 10<sup>5</sup> циклов превосходит классические аустенитные деформируемые стали SUS 304N и SUS 304. Как видно из рис. 2, литейная сталь 12X18H10ТЛ не подлежит испытаниям на усталостную прочность ввиду начала пластического течения уже при 196 МПа, тогда как образцы азотосодержащей литейной стали при напряжении 225 МПа выдерживают 10<sup>7</sup> циклов повторного растяжения. Мартенситно-аустенитная сталь 08X15H4ДМЛ имеет более высокое значение предела усталостной прочности.

**Твердость.** Исследования твердости показали, что благодаря твердорастворному упрочнению азотом исследованная литейная сталь тверже традиционных

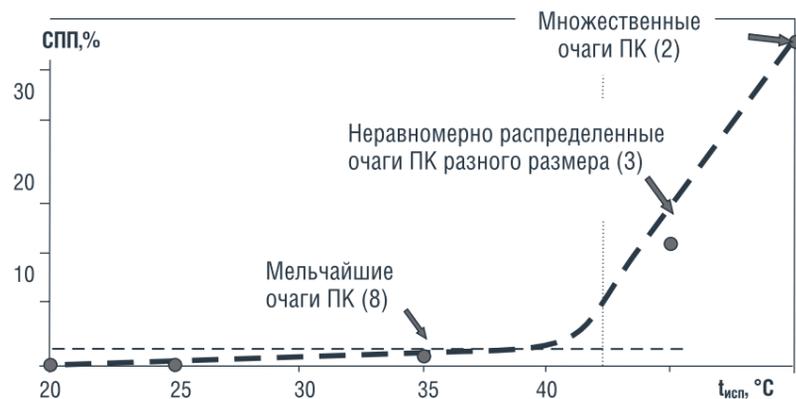
ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний на абразивное изнашивание термически обработанной литой стали 05X21AG15H8MФЛ с ~0,5% N в сравнении со сталью 110Г13Л

Сталь	Потеря массы, ΔМ, г	Отн. износостойкость, ε <sup>5</sup>	Микротвердость контактной поверхности после испытаний, Н50 изн.	Фазовый состав
05X21AG15H8MФЛ	0,5654	0,95	4135	~97% аустенита + ~2% феррита
110Г13Л	0,5407	1,0	5200	100% аустенит

ТАБЛИЦА 3. Стойкость к ПК при 25 °С в течение 1–10 ч после обработки на твердый раствор (1) и обработки на твердый раствор и старения (2)

T0	Длительность выдержки в растворе, час			
	1	2	5	10
1	Очагов ПК не обнаружено	Очагов ПК практически нет	Очагов ПК практически нет. Микроучастки растрыва поверхности	Единичные неравномерно распределенные очаги ПК
2				

РИС. 3. Влияние температуры испытаний образцов стали 05X21АГ15Н8МФЛ с ~0,5% N на СПП по ГОСТам РФ (в скобках указана стойкость в баллах по шкале ASTM DIN 610)



**МКК.** Экспериментально подтвержденное отсутствие включений нитридов и карбидов по границам зерен в структуре литой стали и стали после термообработки должно было гарантировать сталь от МКК. При осмотре испытанных на МКК образцов после их загиба на угол 90° в литом, наиболее неоднородном структурном состоянии, трещины отсутствовали. Сталь в состоянии после отжига при 1200 °С тем более не проявляла признаков МКК.

**Варьирование длительности ПК при 25 °С.** При испытаниях на питтинговую коррозию (ПК) сравнивали литые образцы после термообработок: (1) обработка на твердый раствор (1200 °С, 1 ч, вода) (2) то же + старение при 700 °С, 100 ч, провоцирующее выделение избыточных фаз. Увеличение длительности выдержки при испытаниях от одного до 10 ч

не выявило влияния старения на питтинговую коррозию литой стали, термически обработанной на твердый раствор (таблица 3). Внешний вид обработанных на твердый раствор и состаренных образцов после испытаний одинаков, низкая степень поражения свидетельствует о стойкости литой стали 05X21АГ15Н8МФЛ к ПК при данных условиях испытаний.

**Варьирование температуры ПК.** Согласно шкалам стандарта ASTM DIN 610, стойкость к ПК оценивают по 10-бальной шкале, соотношенной со степенью поражения поверхности питтингами (СПП, в % поврежденной площади образца). В результате проведенных испытаний для литой стали построена зависимость СПП от температуры испытаний и выявлена критическая температура питтингообразования: КТП = 42 °С (рис. 4)<sup>6</sup>.

ТАБЛИЦА 4. Стойкость стали 05X21АГ15Н8М2ФЛ и ряда зарубежных марок сталей к ПК, оцененная по ГОСТам РФ и ASTM G-48A<sup>7</sup>, в сопоставлении с величиной ЭСП

Марка AISI (США)	Описание	Аналог РФ	% Cr	% Mo	% N	ЭСП	КТП (°С)
316 Ti	08X17H13M2T	Есть	16,5	2,1	0,05	24,2	15
317 L	0Cr19Ni13Mo3	Нет	18,5	3,1	0,06	29,7	18,9
904L	06XН28МДТ	Есть	20,5	4,5	0,05	36,2	40
05X21АГ15Н8М2ФЛ			21–22	1,5	0,5	33	42

Проведение перед испытаниями старения при 700 °С не влияло на коррозионное поведение и вид поверхности образцов при всех указанных температурах испытаний. Полученная КТП сопоставлена с известными данными о стойкости к ПК распространенных марок коррозионностойких сталей (таблица 4; видно, что сталь по КТП превосходит стали типа 316 и находится на уровне высоконикелевой стали 904L.

### Свариваемость стали 05X21АГ15Н8МФЛ

Разработана [18] технология сварки стали 05X21АГ15Н8МФЛ с ~0,5%N способом ручной АрДС неплавящимся электродом, с использованием сварочных присадок 10X20H18M3AFС и 25X25H16AG7, содержащих до ~0,25% N. Полученные сварные соединения не имеют газовых пор, горячих трещин. Их прочность на разрыв лишь на 7 и 11% ниже (соответственно), чем у основного металла.

Показана возможность получения методом лазерной стыковой сварки, без сварочной присадки, бездефектных сварных соединений с получением сварных швов шириной от 350 до 1200 μm, не содержащих включений феррита

<sup>6</sup> По ГОСТ 9.912-89 и ГОСТ 9.908-85 КТП оценивается за 5 ч в 10%-ном р-ре FeCl<sub>3</sub>.

<sup>7</sup> По ASTM G-48A КТП оценивается за 72 часа в р-ре 6% FeCl<sub>3</sub>.



и σ-фазы [19]. Полученные лазерной сваркой соединения литой стали по величине предела прочности равнопрочны основному металлу. Предел текучести изученных сварных соединений находится на уровне, присущем литому состоянию упрочненной азотом стали и превосходит на 40–50% предел текучести не сварного металла сталей типа 12X18H10ТЛ, не содержащих азота [6].

**Обрабатываемость резанием.** Сталь высоковязкая и износостойкая, однако для нее подобраны параметры режимов резания (скорость вращения патрона, подача резца, глубина резания), обеспечивающие нормальный сход стружки.

### Заключение

Разработана новая коррозионностойкая литейная сталь 05X21АГ15Н8МФЛ с ~0,5% N аустенитного класса и режимы ее термообработки, обеспечивающие уровень свойств: σ<sub>0,2</sub> = 370–430 МПа; σ<sub>B</sub> = 670–700 МПа; δ = 34–40%; φ = 50–52%, КСУ = 200–240 Дж/см<sup>2</sup>. Сталь нечувствительна к надразам, превосходит применяющиеся в РФ литейные аустенитные стали по пределу текучести в ~2 раза, по ударной вязкости в ~4,5 раза, по твердости – на ~25%. Ее высокая прочность позволяет уменьшать толщину сечений отливок (и их массу) без ущерба для надежности и долговечности. Превосходит по питтинговости традиционные коррозионностойкие стали типа 08X17H13M2T. Сталь является хладостойкой во всем интервале климатических температур, имеет износостойкость на уровне стали Гадфильда.

Сталь технологична как литейный материал, обрабатывается резанием, может использоваться для изготовления литых деталей сложной конфигурации, в том числе с применением операций сварки (лазерной стыковой, без присадки, и аргодуговой, с присадками 10X20H18M3AFС и 25X25H16AG7, содержащими до ~0,25% N). Рекомендуется как материал для литых высоконагруженных хладостойких, коррозионно- и износостойких изделий ответственного назначения. ●

Статья выполнена благодаря финансированию:  
- государственное задание № 075-00328-21-00;  
- Программа Президиума РАН 1.55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития» (№ 0087-2018-0020)

### Литература

- Солнцев Ю.П. Хладостойкие стали и сплавы: учебник для вузов / Солнцев Ю.П. – Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ, 2020. – 476 с. – ISBN 978-5-93808-299-1. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/67358.html>.
- Speidel M.O. Nitrogen Containing Austenitic Stainless Steels. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 2006. 37, № 10.
- K.H. Lo, C.H. Shek, J.K.L. Lai. Recent developments in stainless steels // Materials Science and Engineering R 65. 2009. P. 39–104.
- М.В. Костина, О.А. Банных, С.О. Мурадян. Разработка новой литейной высококоррозионно-стойкой и высокопрочной аустенитной стали, легированной азотом. Часть 1. Анализ свойств известных коррозионностойких литейных сталей // М., Заготовительные производства в машиностроении, 2011, № 3, с. 31–38.
- М.В. Приданцев, Н.П. Талов, Ф.Л. Левин. Высокопрочные аустенитные стали. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
- ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия.
- Патент РФ №2445397 «Высокопрочная литейная немагнитная коррозионно-стойкая сталь и изделие, выполненное из нее», зарегистрирован в госреестре изобретений РФ 20.03.2012,

патентообладатель ИМЕТ РАН, авторы О.А. Банных, В.М. Блинов, Е.В. Блинов, М.В. Костина, С.О. Мурадян, Л.Г. Ригина и др.

- В.В. Назаратин, Л.Г. Ригина, М.В. Костина, С.О. Мурадян и др. Исследование возможности применения новой высокоазотистой стали для производства литых заготовок // М., Литейное производство, № 6, 2009, с. 23–28.
- М.В. Костина, С.О. Мурадян, М.С. Хадыев, А.А. Корнеев. Исследование влияния термической обработки на структуру, фазовый состав и механические свойства новой литейной высокоазотистой коррозионностойкой Cr-Mn-Ni-Mo-N стали // М., Металлы, № 5, 2011, с. 33–48.
- Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 768 с: ил. ISBN 978-5-93808-157-4.
- Хладостойкость новой литейной Cr-Mn-Ni-Mo-N стали С 0,5 % N. ЧАСТЬ 1. Костина М.В., Поломошнов П.Ю., Блинов В.М., Мурадян С.О., Костина В.С. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2019. Т. 62. № 11. С. 894–906.
- Хладостойкие материалы. [https://ozlib.com/863351/tehnika/hladostoykie\\_materialy](https://ozlib.com/863351/tehnika/hladostoykie_materialy)
- Горобченко С.Л., Кривошеин Ю.С., Андреев А.К., Солнцев Ю.П. Конкурентоспособность арматурного литья. За пределами ударной вязкости или применение нового комплексного метода для подтверждения надежности аустенитных сталей для криогенной арматуры // «ТРА. Трубопроводная арматура и оборудование», 23 декабря, 2013, <http://www.valverus.info/popular/3219-konkurentosposobnost-armaturnogo-litya.html>.
- М.В. Костина, С.О. Мурадян, В.Ф. Терентьев, Е.В. Блинов, Д.В. Просвирнин. Статическая и циклическая прочность аустенитной коррозионно-стойкой литейной Cr-Ni-Mn-Mo-N стали // Металлы, №3, 2015, стр. 34–44.
- О.А. Банных, В.М. Блинов, М.В. Костина, Е.В. Блинов, Г.Ю. Калинин. Влияние режимов горячей прокатки и термической обработки на структуру, механические и технологические свойства аустенитной азотосодержащей стали 05X22АГ15Н8М2Ф-Ш // М., Металлы, 2006, № 4. с. 33–4.
- М.В. Костина, И.Л. Харина, С.О. Мурадян, В.В. Немов. Исследование стойкости новой литейной высокоазотистой Cr-Mn-Ni-Mo-N стали к межкристаллитной, питтинговой и щелевой коррозии // XVI международная научно-техническая конференция «Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов и конструкций» 26–27 октября 2010 г., г. Санкт-Петербург, с. 229–233.
- М.В. Костина, И.Л. Харина, С.О. Мурадян, В.В. Немов. Стойкость к локальной коррозии новой литейной высокоазотистой высокопрочной аустенитной стали // Сборник статей международной конференции «Фундаментальные аспекты коррозионного материаловедения и защиты металлов от коррозии», 18–20 мая 2011 г., Москва, ВИАМ, стр. 144–145.
- Костина В.С. «Исследование и развитие технологических основ сварки высокоазотистых коррозионностойких Cr-Ni-Mn-Mo аустенитных сталей». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.16.01. М., ИМЕТ РАН, 2020 г.
- Костина В.С., Костина М.В., Ворончук С.Д., Мурадян С.О., Ригина Л.Г. «Изучение структуры и свойств металла сварных соединений, полученных лазерной сваркой аустенитной стали с 0,5% N в литом и деформированном состоянии» // Металлы, № 5, 2018, с. 3–11.

**KEYWORDS:** cast austenitic steel, corrosion-resistant materials, mining in the Arctic, mechanical properties, strength, cold resistance.

# МИНЕРАЛЬНЫЕ МАЛОКЛИНКЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

## для развития инфраструктуры Арктики

**Хайдаров Бекзод Бехтиёрович**

к.т.н., ассистент

**Суворов Дмитрий Сергеевич**

научный сотрудник

**Лысов Дмитрий Сергеевич**

заведующий лабораторией

**Бычков Алексей Владимирович**

к.т.н., ведущий эксперт

**Хайдаров Тимур Бехтиёрович**

лаборант

**Кузнецов Денис Валерьевич**

к.т.н., заведующий кафедрой

кафедра функциональных наносистем  
и высокотемпературных материалов  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»»

**Волохов Сергей Вадимович**

дирекция по техническому развитию  
и качеству, старший менеджер,  
ПАО «Северсталь»

ОСОБЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА СУЩЕСТВЕННО ОГРАНИЧИВАЮТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЩЕПРИНЯТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ТАКИХ КАК ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ, КОТОРЫЕ НЕ ОТЛИЧАЮТСЯ ВЫСОКОЙ МОРОЗОСТОЙКОСТЬЮ И НЕ ИМЕЮТ ДОСТАТОЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ПОЧВЕННЫХ ВОД ИЛИ МОРСКОЙ ВОДЫ НА БЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ. КАКИЕ РЕШЕНИЯ ПРЕДЛАГАЮТ РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ?

*THE SPECIFIC CLIMATIC CONDITIONS OF THE ARCTIC REGION SIGNIFICANTLY LIMIT THE POSSIBILITY OF USING CONVENTIONAL MINERAL BINDERS SUCH AS PORTLAND CEMENTS, DUE TO THEIR LOW FROST RESISTANCE AND INSUFFICIENT RESISTANCE TO SULFATE CORROSION, WHICH OCCURS AS A RESULT OF LONG-TERM ACTION OF SOIL WATER OR SEA WATER ON CONCRETE PRODUCTS. WHAT SOLUTIONS DO RUSSIAN SCIENTISTS OFFER?*

Ключевые слова: сульфатостойкие вяжущие, гранулированный доменный шлак, малоклинкерные вяжущие, геоплимерные бетоны, морозостойкость.

### Введение

Задачи широкого и эффективного применения крупнотоннажных отходов металлургии и энергетического комплекса РФ в качестве компонентов строительных материалов, таких как вяжущие, инертные минеральные добавки, легкие заполнители, становятся с каждым годом все более актуальными в связи с расширением географии строительства и спектра решаемых задач. Не менее важен экологический аспект, связанный с задачей уменьшения площадей полигонов для хранения техногенных отходов, общий объем которых превышает 5 млрд тонн и ежегодно возрастает. При этом потребление различных типов строительных материалов на гражданское строительство, развитие промышленной и дорожной инфраструктуры, возведение гидротехнических объектов, в том числе на севере РФ, непрерывно возрастает и в 2025 году может составить более 85 млн тонн в год.

Одновременно с этим планируемые изменения в таможенном регулировании стран ЕС, связанные со снижением выбросов парниковых газов, а также общее стремление человечества к рациональному природопользованию и ресурсосбережению приводят к необходимости создания новых технологий, обеспечивающих снижение количества выбросов углекислого газа и накопления отходов. Эти факторы создают предпосылки для более широкого применения металлургических шлаков и золошлаковых отходов тепловых станций для производства различных типов высокомарочных минеральных вяжущих [1, 2].

### Исходные материалы

Среди широкого спектра техногенных отходов наилучшим материалом для получения минеральных вяжущих – заменителей цемента – является гранулированный доменный шлак. Он образуется в результате быстрого охлаждения образующегося при производстве чугуна жидкого шлака (рис. 1) [3]. Граншлаки в основном состоят из частиц неправильной формы с размерами от 0,5 до 10 мм и насыпной плотностью,

### ФАКТЫ

**5** млрд тонн

составляет общий  
объем техногенных  
отходов

не превышающей 1100 кг/м<sup>3</sup>. Основным их преимуществом является близость химического и фазового состава к портландцемятам (таблица 1) [4]. Детальное описание физико-химических свойств доменных гранулированных шлаков, производимых двумя крупнейшими российскими металлургическими комбинатами полного цикла – ПАО «Северсталь» (г. Череповец) и ПАО «НЛМК» (г. Липецк), представлено в работе [5].

РИС. 1. Шлаковые отвалы (А) и внешний вид гранулированного доменного шлака (Б)

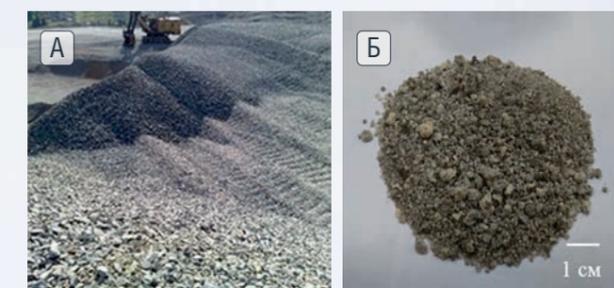


ТАБЛИЦА 1. Химический состав гранулированных доменных шлаков и цементного клинкера

Компонент	Содержание масс., %		
	ПАО «Северсталь»	ПАО «НЛМК»	Цементный клинкер
SiO <sub>2</sub>	37,3	28,8	20–23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,3	6,0	4–7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	0,4	1–4
CaO	37,4	52,1	60–75
MgO	12,3	7,6	2–4
Другое	2,6	5,1	1–13

ТАБЛИЦА 2. Средние значения пределов прочности искусственных камней на основе доменных гранулированных шлаков

Компонент	Содержание цемента, массовых долей, %	После 28 суток, МПа	После 180 суток, МПа
Портландцемент М500	100	60	70
	10	61	78
	20	79	90
	30	80	99
	40	95	114
Граншлак ПАО «Северсталь»	50	82	95
	10	57	75
	20	85	92
	30	86	103
	40	89	120
Граншлак ПАО «НЛМК»	50	100	123

## Результаты экспериментов

В рамках представляемой работы с целью создания высокоэффективного малоклинкерного минерального вяжущего для применения в условиях Арктики был проведен комплекс исследований по подбору оптимальных составов смесей цемента и молотого доменного шлака. Были определены зависимости предела прочности искусственного камня, состоящего только из минерального вяжущего от количества портландцемента, содержание которого варьировалось от 10 до 50 масс. %. Определение предела прочности производилось на 28 и 180 суток выдержки образцов. Средние значения пределов прочности образцов различного состава на основе шлаков ПАО «Северсталь» и ПАО «НЛМК» представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, предел прочности на сжатие образцов на основе граншлака ПАО «Северсталь» зависит от состава экстремальным образом: максимальный показатель достигается при 40% масс. шлака и составляет 95 МПа после выдержки в течение 180 суток. Для образцов граншлака ПАО «НЛМК» наблюдается непрерывное увеличение предела прочности с увеличением содержания портландцемента до 50% масс., при котором он составляет 123 МПа после 180 суток. Результаты рентгеновского фазового анализа позволяют предположить, что более высокие значения

ТАБЛИЦА 3. Средние значения пределов прочности различных образцов бетонов на основе гранулированного доменного шлака ПАО «Северсталь»

Состав вяжущего	Предел прочности при сжатии после ТВО, МПа	Каждущая плотность, г/см <sup>3</sup>	Среднее значение предела прочности на 28 суток, МПа
Цемент	17	2,05	27
Шлак/цемент 50/50	19	2,08	33
Шлак/цемент 60/40	13	2,07	26
Шлак/цемент 70/30	10	2,04	23

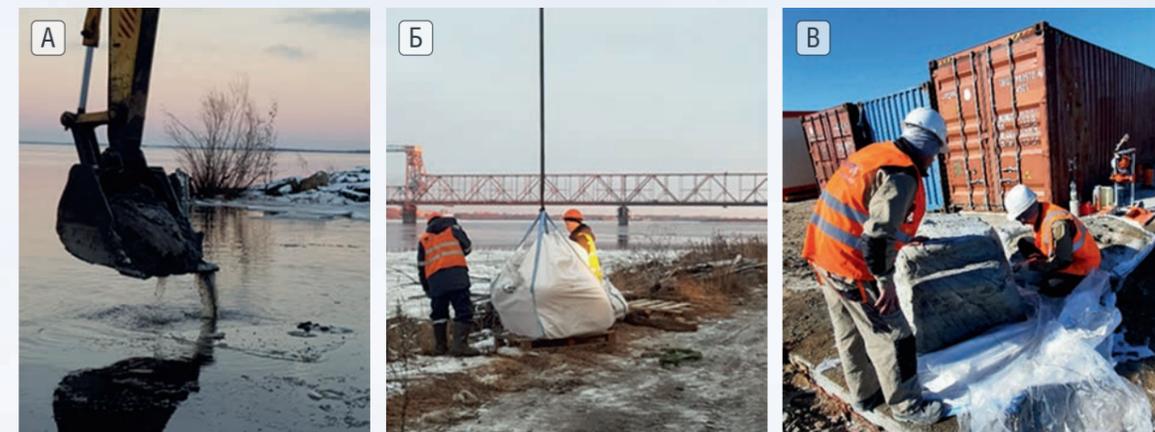
прочности камней на основе шлака ПАО «НЛМК» обусловлены большим содержанием высокоактивной аморфной фазы, которое, в свою очередь, связано с различиями химического состава шлаков и технологией их охлаждения при грануляции их жидкого состояния.

Таким образом, было показано, что на основе молотых доменных могут быть получены минеральные вяжущие, превосходящие традиционный портландцемент по прочностным характеристикам. Для дальнейших экспериментов были выбраны шлаки ПАО «Северсталь», которые по отношению к остальным металлургическим комбинатам России характеризуются наиболее коротким логистическим плечом к арктическим стройкам.

На основе результатов подбора составов вяжущих были изготовлены модельные образцы бетонов, в составе которых присутствовали малоклинкерное минеральное вяжущее на основе шлака ПАО «Северсталь» и песок в соотношении 1:3 (ГОСТ 30744-2001). Часть изготовленных образцов подвергалась тепловлажностной обработке (ТВО) для ускоренного набора прочности, а другая часть выдерживалась в течение 28 суток. Результаты определения пределов прочности образцов бетонов показаны в таблице 3. Представленные результаты показывают, что вяжущие свойства малоклинкерных минеральных вяжущих на основе гранулированных доменных шлаков ПАО «Северсталь» при его содержании до 60% масс. шлака практически не уступают портландцементу.

Полученные результаты легли в основу промышленных экспериментов, в рамках которых была изготовлена опытная партия бетонных изделий с применением местных материалов в качестве заполнителя. В качестве промышленной площадки был выбран причал АО «МРТС» в г. Архангельске, в качестве заполнителя использовался придонный песчаный грунт реки Северная Двина (рис. 2 А, Б). Количество минерального вяжущего, состоящего из 60% масс. шлака и 40% масс. портландцемента, расход вяжущего на 1 м<sup>3</sup> бетона составил 250 кг.

РИС. 2. Процессы изготовления экспериментальных геополимерных бетонных изделий (А, Б) и отбора проб (В)



Твердение и выдержка геополимерного бетона протекало в осенний период в зоне переменного уровня воды при температуре воздуха -17 °С...+12 °С.

Отбор проб для проведения испытания характеристик бетона проводился через 6 месяцев после изготовления изделий. Из объема полученных изделий высверливались пробы в виде цилиндров диаметром 15 см, высотой 30 см. Процесс отбора проб показан на рисунке 2В. Внешний вид полученных из изделий и проб геополимерных бетонов представлен на рис. 3А и 3Б, В соответственно.

Определение характеристик полученных серий проб проводилось испытательной лабораторией «НИИ СМиТ» (г. Новомосковск) и ООО «Тулаоргтехстрой» (г. Тула) в соответствии с ГОСТ 28570-2019 и ГОСТ 18105-2018. Согласно проведенным исследованиям, предел прочности на сжатие полученного геополимерного бетона соответствовал классу В10–В20 (10,1–19,3 МПа), водонепроницаемость – марке W6, а морозостойкость – марке F100–F150, что позволяет отнести полученный материал к классу умеренной морозостойчивости.

Таким образом, полученные результаты по подбору оптимального состава минерального вяжущего на основе смеси портландцемента и молотого гранулированного шлака ПАО «Северсталь» указывают на возможность его широкого использования при возведении зданий и сооружений в условия Арктики.

РИС. 3. Внешний вид изделия из геополимерного бетона (А) и отобранных проб (Б, В)



## ФАКТЫ Предел прочности

на сжатие образцов на основе граншлака зависит от состава: максимальный показатель достигается при 40% масс. шлака и составляет 95 МПа после выдержки в течение 180 суток

Необходимо также отметить хорошие перспективы использования молотых доменных шлаков и в качестве добавки к портландцементам в концентрациях менее 40% масс. В частности, авторами [6] было показано, что портландцементы позволяют получать показатель морозостойкости F50–F150, при этом введение в состав цемента молотого шлака приводит к существенному повышению этого показателя. ●

### Литература

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.П. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. 368 с.
2. Алоян Р.М. Использование отходов теплоэнергетической промышленности Дальнего Востока в технологию строительных материалов: уч. пособие / Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Л.А. Опарина, Н.И. Ярмолинская. – Хабаровск: изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2000. – 96 с.
3. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И. и др. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.
4. Khaydarov Bekzod, Suvorov Dmitrii, Pazniak Anna, Kolesnikov Evgeniy, Gorchakov Vyacheslav, Mamulat Stanislav, Kuznetsov Denis. Efficient method of producing clinker-free binding materials using electromagnetic vortex milling. Materials Letters, Volume 226, 1 September 2018, Pages 13–18.
5. Khaidarov, B.B., Suvorov, D.S., Lysov, D.V., Luchnikova, G.G., Druzhinina, M.E., Kuznetsov, D.V., Bychkov, A.V., Burmistrov, I.N., Mamulat, S.L. Investigation of Mineral Hydraulic Binders Based on the Slag-Cement System Obtained with the Use of Vortex Electromagnetic Homogenization (2021) Refractories and Industrial Ceramics, 62 (1), pp. 103–107.
6. Трофимов Б. Я., Крамар Л. Я., Шулдыков К.В. Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона // Строительные материалы. – 2013. – № 9.

KEYWORDS: sulfate-resistant binders, granular blast furnace slag, low-clinker binders, geopolymer concretes, frost resistance.

# ЗАЩИТА МОРСКОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

## Новые ледостойкие платино-ниобиевые аноды для защиты от коррозии

**Ставицкий Олег Александрович**

начальник лаборатории, к.т.н.

**Савелов Александр Сергеевич**

заместитель начальника научно-производственного комплекса, к.т.н.

**Подшивалов Алексей Валерьевич**

ведущий инженер

**Яньков Алексей Леонидович**

ведущий инженер

**Малашев Павел Иванович**

ведущий инженер

НИЦ «Курчатовский институт» –  
ЦНИИ КМ «Прометей»

НА ОСНОВЕ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ АНОДОВ ТИПА АКК-М-4 В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА «50 ЛЕТ ПОБЕДЫ», ИМЕЮЩИХ СРОК СЛУЖБЫ ДО 15 ЛЕТ, ПРОВЕДЕНЫ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ЛЕДОСТОЙКИХ ПЛАТИНО-НИОБИЕВЫХ АНОДОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ, СПОСОБНЫХ ОБЕСПЕЧИТЬ ЭФФЕКТИВНУЮ И НАДЕЖНУЮ ЗАЩИТУ ОТ КОРРОЗИОННО-ЭРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ КОРПУСОВ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕДОКОЛОВ И ЛЕДОСТОЙКИХ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ БЕЗ ЗАМЕНЫ И РЕМОНТА АНОДОВ НА СРОК ДО 25 И БОЛЕЕ ЛЕТ. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ РАЗРАБОТАНЫ НОВЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ЛЕДОСТОЙКИЕ АНОДЫ ТИПА АКЛ-2МУ И АКЛ-3МУ

BASED ON THE OPERATING EXPERIENCE OF AKK-M-4 ANODES AS PART OF THE CATHODIC PROTECTION SYSTEM OF THE NUCLEAR-POWERED ICEBREAKER "50 LET POBEDY", WITH A SERVICE LIFE OF UP TO 15 YEARS, WORK WAS CARRIED OUT TO CREATE A NEW GENERATION OF ICE-RESISTANT PLATINUM-NIOBIUM ANODES FOR THE CATHODIC PROTECTION SYSTEM CAPABLE TO PROVIDE EFFECTIVE AND RELIABLE PROTECTION AGAINST CORROSION AND EROSION DAMAGE OF HULLS OF MODERN ICEBREAKERS AND ICE-RESISTANT OFFSHORE STRUCTURES WITHOUT REPLACING AND REPAIRING ANODES FOR UP TO 25 YEARS OR MORE. BASED ON THE RESULTS OF THE WORK, NEW IMPROVED ICE-RESISTANT ANODES OF THE AKL-2MU AND AKL-3MU TYPES HAVE BEEN DEVELOPED

Ключевые слова: катодная защита, антикоррозионные покрытия, атомный ледокол, морская техника, Арктика.

Экономические перспективы и геостратегическое значение Арктики заставляют приарктические, а также некоторые внерегиональные государства проявлять все большую заинтересованность в освоении северных высокоширотных территорий [1, 2, 3]. Россия, обладающая наиболее протяженной частью арктического побережья, проводит активное исследование природы и биоресурсов Арктики, ведет разведку и добычу углеводородного и минерального сырья ее шельфа. В связи с этим осуществляется строительство и разрабатываются новые проекты морской техники, способной обеспечивать длительную работоспособность в экстремальных природно-климатических условиях (ледоколы, суда и корабли ледового класса, плавэлектростанции, нефтегазодобывающие платформы и др.) [4, 5].

Как известно [6, 7, 8], при одновременном воздействии на стальную обшивку металлоконструкции морской воды и движущихся льдов скорость коррозии увеличивается в 10 и более раз, изменяется характер коррозионных разрушений с равномерного на язвенный с глубокими и острыми кромками. В результате интенсивного коррозионно-эрозионного износа увеличивается шероховатость корпуса, что приводит к снижению ледопроницаемости ледоколов, увеличению расхода топлива судов из-за повышения силы трения при взаимодействии со льдом и создания дополнительной нагрузки движущимся ледовым полем на корпус стационарных сооружений [9, 10].

### Состояние вопроса

Сохранение на проектном уровне эксплуатационных характеристик ледоколов на максимально долгий срок во многом зависит от решения вопроса обеспечения надежной и эффективной защиты подводной части корпуса от коррозионно-эрозионного износа. Традиционный способ антикоррозионной защиты с помощью лакокрасочных покрытий не позволяет долговременно предотвращать развитие коррозионных процессов корпусных сталей вследствие высокой степени их разрушения при ударных и истирающих ледовых нагрузках, особенно в зоне ледового пояса. Протекторная

### ФАКТЫ

В 80-х гг.

XX в. разработана конструкция анода типа АКК-М-4, способного обеспечивать высокую токоотдачу в условиях экранирования корпуса ледокола и выдерживать мощные ударные и истирающие ледовые нагрузки

защита также малоэффективна, поскольку установленные на корпусе судна протекторы срываются движущимся льдом. Одним из эффективных способов предотвращения коррозионно-эрозионных разрушений подводной части корпусов ледоколов и судов ледового исполнения является электрохимическая защита путем катодной поляризации корпуса постоянным током, стекающим в воду со специальных ледостойких анодов, устанавливаемых на наружной обшивке судна [11].

Долговечность систем катодной защиты в ледовых условиях определяется надежностью ее корпусных элементов, прежде всего – анодов. На основе длительных опытно-конструкторских работ и, в том числе, натурных испытаний опытных систем катодной защиты атомных ледоколов «Советский Союз» и «Ямал» к концу 80-х годов XX века была разработана конструкция анода типа АКК-М-4 (рис. 1), способного обеспечивать высокую токоотдачу в условиях экранирования корпуса ледокола трещинами льдом и выдерживать мощные ударные и истирающие ледовые нагрузки.

В связи со спецификой работы морских сооружений в условиях низких температур и необходимостью поддержания максимальной экологической безопасности требования заказчиков к эксплуатационной надежности арктической техники в настоящее время ужесточаются и направлены на применение современных технологических



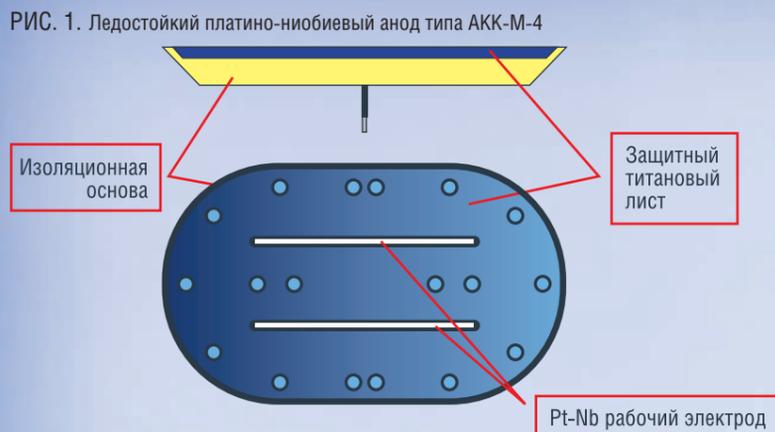


РИС. 1. Ледостойкий платино-ниобиевый анод типа АКК-М-4

решений. Новые ледоколы и суда ледового класса должны больше находиться в работе по прямому назначению, меньше времени простаивать в доке, а объемы доковых работ по устранению коррозионного износа их корпусов и ремонту корпусных элементов должны быть минимальны. Материалы и технологии, применяемые при изготовлении ледостойких анодов типа АКК-М-4, не могут в полной мере обеспечить длительный срок службы систем катодной защиты от коррозии современных ледоколов, судов ледового плавания и арктических нефтегазодобывающих платформ, составляющий 25 и более лет.

Зарубежный ледокольный флот не имеет в своем составе мощных ледоколов, способных к круглогодичной навигации в Арктике, а применяемые для катодной защиты средних ледоколов корпусные элементы рассчитаны на воздействие льдов толщиной до 40–50 см. На отечественных ледоколах финской постройки «Таймыр» и «Вайгач» аноды катодной защиты фирмы «Savcor» в условиях Арктики уже через два года вышли из строя. Опыт эксплуатации некоторыми приарктическими странами (Канада, Норвегия) анодов для катодной защиты шельфовых морских сооружений показали их недостаточную надежность при воздействии крупных льдов [12, 13, 14].

В связи с этим при разработке новых ледостойких анодов для долговременной защиты от коррозии арктической морской техники использовались данные наблюдений работы за системой катодной защиты от коррозии атомного ледокола «50 лет Победы».

### Опыт эксплуатации анодов на атомном ледоколе «50 лет Победы»

В составе катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы» по всей длине наружной обшивки корпуса установлены тридцать анодов типа АКК-М-4. Данный ледостойкий анод представляет из себя двухполосный платино-ниобиевый рабочий электрод, смонтированный в изоляционную основу из эпоксидного стеклопластика горячего прессования марки СТЭТ-1, и накладной лист из титана, защищающий изоляционную основу от ударного и истирающего воздействия льда.

В кормовом подзоре, где ледовые нагрузки меньше, установлены восемь анодов типа АКЛ без титанового листа.

С момента сдачи атомного ледокола «50 лет Победы» в эксплуатацию в 2007 году при его очередных докованиях специалистами НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» осуществлялся осмотр состояния корпусных элементов катодной защиты и подводной части корпуса. По результатам этих осмотров была подтверждена эффективность применения в конструкции анодов типа АКК-М-4 защитных титановых листов, данный тип ледостойких анодов показал высокую надежность и работоспособность в условиях Арктики. Вместе с тем за десять лет нахождения корпусных элементов в воде при достройке ледокола на плаву у причала ОАО «Балтийский завод» и его эксплуатации по прямому назначению были выявлены некоторые нарушения работы данных анодов.

Вследствие высокой токоотдачи ледостойких анодов, концентрация омывающих их поверхность агрессивных продуктов электролиза морской воды, прежде всего хлора, выделяющегося непосредственно с поверхности рабочего электрода при работе катодной защиты, практически вдвое превышает количество химических реагентов на типовых анодах. Воздействие хлора на стеклопластик приводит к набуханию изоляционных основ, постепенному вымыванию эпоксидного связующего, расслоению и потере прочности электроизоляционного материала. Как показала практика эксплуатации анодов АКК-М-4, изоляционные основы, изготовленные ОАО «Балтийский завод» путем механической обработки плит стеклопластика типа СТЭТ из ровинговой стеклоткани марки ТР-07 на парафиновом замасливателе не обладают достаточной химической стойкостью к хлору и его производным.

Из-за разупрочнения стеклопластика под воздействием хлора и недостаточной жесткости фиксации при используемом способе сборки анода путем заформовки рабочих электродов в изоляционных основах у отдельных анодов типа АКК-М-4 в условиях

движущегося льда происходило расшатывание платино-ниобиевых полос, их изгиб и последующее замыкание на титановый лист. По этой же причине на анодах снижалась прочность узлов крепления изоляционной основы и защитного титанового листа, что привело при взаимодействии со льдом к отрыву последних на двух анодах (рис. 2). При следующем доковании было обнаружено, что за время эксплуатации без защитного титанового листа рабочие электроды этих анодов были практически полностью разрушены льдами.

Одним из важных условий надежной эксплуатации ледостойких анодов является прочность крепления и предотвращение самоотвинчивания резьбовых титановых заглушек, закрывающих монтажные отверстия анодов, что вызвано возникновением больших вибрационных нагрузок на корпус ледокола и корпусные элементы катодной защиты при прохождении ледовых полей. Как показала практика эксплуатации катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы» на анодах типа АКК-М-4 отмечалось продавливание или выпадение некоторых монтажных титановых заглушек.

Также за прошедший период работы ледокола на некоторых анодах АКК-М-4 было отмечено возникновение электрокоррозии титана, проявляющейся в виде неравномерных язвенных разрушений по периметру титановых листов. Проявление подобных дефектов связано с образованием анодных и катодных зон на титановом листе при его нахождении в электрическом поле и превышением потенциала пробоя окисной пленки титана на его анодно поляризуемых участках в случае высокой токоотдачи анода.

Данные осмотров анодов типа АКЛ, установленных в кормовом подзоре ледокола показали, что на этом участке корпуса также необходимо обеспечивать защиту изоляционных основ анодов от ледового воздействия с помощью накладного титанового листа. Трение обломков льда о поверхность данных анодов приводило к постепенному истиранию стеклопластиковой основы, выступанию рабочих электродов из защитных пазов наружу и последующему их выламыванию движущимся льдом.

### Разработка новых ледостойких анодов

Результаты наблюдений работы катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы» и полученные данные об уязвимых местах конструкции анодов типа АКК-М-4 использовались при разработке усовершенствованных ледостойких анодов, обеспечивающих работоспособность систем катодной защиты от коррозии ледоколов на срок не менее 25 лет.

Работы по увеличению надежности новых ледостойких анодов были направлены на повышение их конструктивной прочности и применение материалов и технологий изготовления элементов анода, обеспечивающих:

- увеличение срока службы платино-ниобиевого рабочего электрода с 15 до 25 лет при анодной плотности тока до 5000 А/м<sup>2</sup> и снижении при этом анодного расхода платины;

РИС. 2. Состояние анода АКК-М-4 после эксплуатации без титанового листа



### ФАКТЫ

25 лет

и более составляет срок службы современных ледоколов, судов ледового плавания и арктических нефтегазодобывающих платформ

40-50 см

толщина льда, с которой взаимодействуют корпусные элементы, применяемые для катодной защиты средних ледоколов зарубежного арктического флота

### ФАКТЫ

#### Изменения параметров

ионной бомбардировки позволяет управлять размером и кристаллографической ориентацией зерен, уплотнением их границ, изменять плотность и варьировать внутренние напряжения получаемого покрытия

- повышенную химическую стойкость и механическую прочность материала изоляционных основ в условиях интенсивного хлоровыделения.

#### Анодный материал

Платино-ниобиевые рабочие электроды анодов АКК-М-4 изготавливались методом тепловой прокатки платины на ниобиевую подложку в специальной камере «Атмосфера» с контролируемой средой аргона. Данная технология достаточно сложна, требует жесткого контроля большого числа рабочих параметров и соблюдения особых мер взрывобезопасности и не позволяет получать толщину платинового покрытия менее 40 мкм.

Для изготовления новых платино-ниобиевых рабочих электродов использовалась одна из наиболее перспективных и широко применяемых технологий получения тонких пленок – магнетронное напыление. Данный метод основан на распылении мишени (материал покрытия) за счет бомбардировки ее поверхности ионами рабочего газа (обычно аргона), образующимися в плазме аномального тлеющего разряда в вакууме в скрепленном электрическом и магнитном полях. Изменения параметров ионной бомбардировки позволяет управлять размером и кристаллографической ориентацией зерен, уплотнением их границ, а также изменять плотность и варьировать внутренние напряжения получаемого покрытия. Высокая энергия конденсации магнетронно распыляемых частиц металла (5–10 эВ) обеспечивает прочное

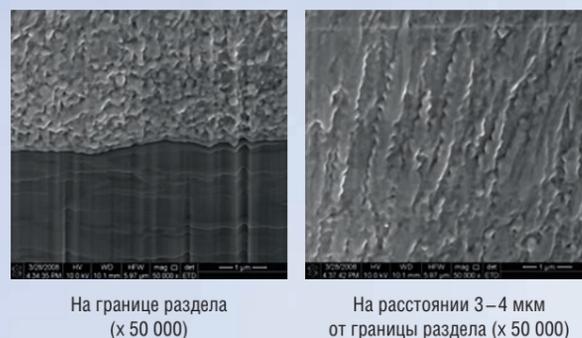
сцепление покрытия с подложкой, а постоянство химического состава – однородность покрытия по толщине.

Новая технология получения платинового слоя на ниобиевой подложке обрабатывалась применительно к специально разработанной магнетронной установке «КРАУДИОН-Н5-09». В результате работ были установлены режимы нанесения платины (состав плазмообразующего газа, давление в рабочей камере, напряжение на катоде и др.) и разработана технология получения однофазного, равномерного и структурированного платинового покрытия на ниобиевых рабочих электродах длиной до 750 мм.

С помощью растрового двулучевого электронно-ионного микроскопа Quanta 200 3D FEG с EBSD-приставкой и многофункционального рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV были проведены исследования микроструктуры платино-ниобиевого анодного материала, изготавливаемого магнетронным способом. Полученные данные показали, что платиновое покрытие имеет плотную структуру, на границе раздела платина-ниобий формируется малоструктурированный подслои платины толщиной 2–3 мкм без граничных дефектов, а при удалении от линии раздела металлов более 3 мкм происходит четкая структуризация кристаллов платины столбчатого характера (рис. 3).

EBSD-анализ показал, что формируемая при магнетронном напылении кристаллическая структура слоя платины мелкодисперсная – средний размер зерна 0,2 мкм при максимальной величине структурной составляющей 0,7 мкм. Около 70% зерен в платиновом покрытии имеют размер менее

РИС. 3. Микроструктура образца магнетронного платинового покрытия на ниобиевой подложке



На границе раздела  
(x 50 000)

На расстоянии 3–4 мкм  
от границы раздела (x 50 000)

## ФАКТЫ

**70%**

зерен в платиновом покрытии имеют размер менее 0,2 мкм, а количество структурных составляющих с размером более 0,5 мкм не превышает 1%

0,2 мкм, а количество структурных составляющих с размером более 0,5 мкм не превышает 1% (рис. 4). В то же время на образцах платины с прокаткой платины размер структурных частиц составлял более 20 мкм. С помощью рентгеноструктурного анализа магнетронного платинового покрытия была выявлена усиленная интенсивность отражения в кристаллах серии плоскостей (111) (рис. 5).

Поскольку в системах катодной защиты применяются источники питания постоянным током с выходным напряжением не более 36 В, то для эффективного обеспечения анодами катодной поляризации защищаемой металлоконструкции большое значение имеет поляризуемость анодного материала рабочих электродов. Для установления изменения анодного потенциала магнетронного платинового покрытия были сняты анодные поляризационные кривые платино-ниобиевых образцов в синтетической морской воде соленостью 35 ‰. Кривые снимались в потенциодинамическом режиме с помощью потенциостата ПИ-50-1. Результаты показали, что интенсивное возрастание потенциала платины до 2,2 В происходит по мере достижения анодной плотности тока 500 А/м<sup>2</sup>, после чего идет монотонное увеличение потенциала, не превышающее 2,7 В при максимальной плотности 5000 А/м<sup>2</sup>.

Для определения величины электрохимического рабочего потенциала новых электродов были проведены длительные (960 часов) испытания платино-ниобиевых образцов, полученных магнетронным способом, в условиях

РИС. 4. Результаты анализа картин дифракции EBSD платинового покрытия: а – ориентационная карта; б – распределение по размерам

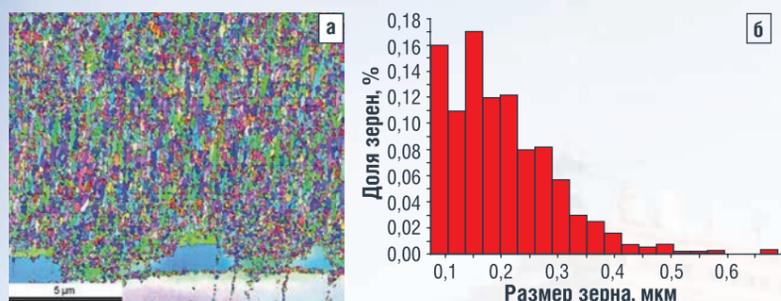


РИС. 5. График дифракционных спектров магнетронного платинового покрытия

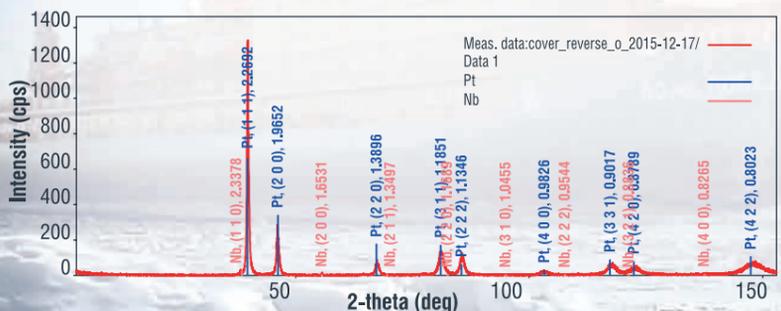
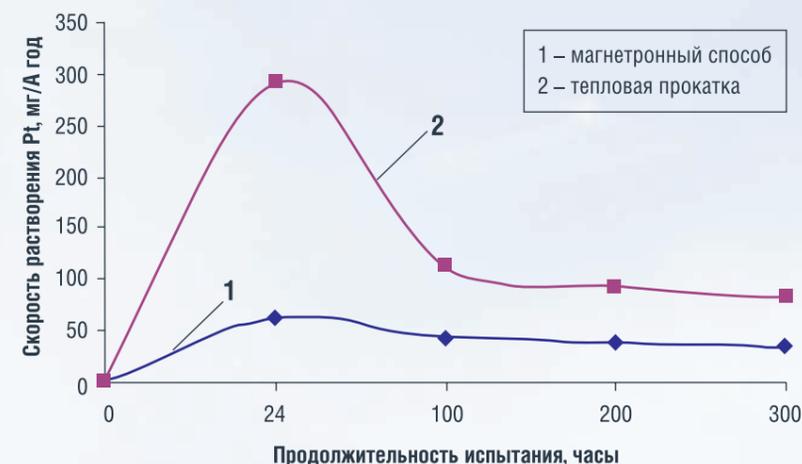


ТАБЛИЦА 1. Результаты исследования скорости растворения платинового покрытия рабочих электродов в синтетической морской воде при анодной плотности тока 5000 А/м<sup>2</sup>

№ п/п	Время, часы	Скорость растворения платины (мг/А·год)		Внешний вид
		Магнетронное напыление	Тепловая прокатка	
1	24	62	292	Без изменения
2	100	48	130	Без изменения
3		30	81	
4		47	124	
5	200	39	91	Без изменения
6	300	34	83	

РИС. 6. Влияние технологии нанесения покрытия на скорость анодного растворения платины



поляризации анодным током плотностью 3000 А/м<sup>2</sup>, соответствующей средней плотности тока анода в ледовых условиях за 15 лет работы. За весь период испытаний при заданной плотности тока рабочий потенциал образцов не изменялся и составлял 2,5–2,6 В.

Срок службы рабочих электродов определяется главным образом удельным анодным расходом материала, применяемого при их изготовлении. Для прогнозирования ресурса эксплуатации магнетронного платино-ниобиевого материала были проведены исследования по определению скорости растворения платинового покрытия, наносимого с помощью магнетронной установки на ниобиевые рабочие электроды, при анодной плотности тока 5000 А/м<sup>2</sup> в синтетической морской воде соленостью 35 ‰. Для сравнения использовались рабочие электроды, полученные методом тепловой прокатки.

По результатам испытаний (табл. 1, рис. 6) было установлено, что скорость анодного растворения магнетронного платинового покрытия в 3–4 раза ниже по сравнению с платиновым покрытием, получаемым тепловой прокаткой платиновой фольги. Причем в период максимальной интенсификации на платиновой поверхности анодных процессов расход платины, наносимой магнетронным способом, был меньше почти в 5,5 раза, а по мере стабилизации процесса растворения – в 2,5 раза.

## Электроизоляционный материал

Для изготовления изоляционных основ новых ледостойких анодов, обладающих повышенной механической прочностью и химической стойкостью, был применен специально разработанный электроизоляционный композиционный высокопрочный материал, стойкий к продуктам электролиза морской воды. Данный композиционный материал представляет из себя стеклопластиковую основу и защитное хлоростойкое покрытие. В качестве материала основы используется эпоксидный стеклопластик горячего прессования марки СТЭТ-1, представляющий собой стеклоткань Т-11-92 на аминосилановом замасливателе с меньшей толщиной стеклянных нитей по сравнению со стеклотканью марки ТР-07, пропитанной эпоксидиановым связующим с отвердителем триэтаноламинтитанатом. А плакирующий наружную поверхность электроизоляционного материала слой формируется из химически стойкой к хлору силиконовой резиновой смеси типа «Пентасил-1513». Причем процесс полимеризации стеклопластика и вулканизации защитного покрытия происходит одновременно в процессе прессования изоляционной основы и при тех же режимах.

Изоляционные основы из нового электроизоляционного материала испытывались на химическую стойкость в составе опытных образцов анодов на специализированном электрохимическом стенде в течение 3000 часов в синтетической морской воде соленостью 35 ‰ при анодной плотности тока 5000 А/м<sup>2</sup>. Созданные условия испытаний были максимально приближены к реальным, и изоляционные основы не просто находились в хлорированной морской воде, а подвергались непосредственному воздействию активного хлора и кислорода, выделяющихся с рабочего платино-ниобиевого электрода.

Полученные результаты (табл. 2) показали, что в условиях хлорывыделения

## ФАКТЫ

**5,5**  
в  
раза

уменьшается расход платины, наносимой магнетронным способом, в период максимальной интенсификации на платиновой поверхности анодных процессов, а по мере стабилизации процесса растворения – в 2,5 раза

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний опытных образцов изоляционных основ из стеклопластика марки СТЭТ-1 с хлоростойким резиновым покрытием в синтетической морской воде при анодной плотности тока 5000 А/м<sup>2</sup>

№ п/п	Показатель	Материал: стеклопластик СТЭТ-1 + хлоростойкое резиновое покрытие	Материал: стеклопластик СТЭТ-1
1	Изменение массы, %	0,87–0,91	2,68
2	Изменение геометрических размеров, %	Без изменений	±0,5
3	Изменение внешнего вида образца	Без изменений	Нарушение целостности поверхности, расслоение
4	Величина электрического сопротивления (изоляции), КОм	90–180	30–45

электроизоляционный материал на основе стеклопластика СТЭТ-1 с плакирующим слоем из силиконовой резины имеет практически в 3 раза меньшее водопоглощение, оцениваемое по изменению массы образца, по сравнению с допустимыми значениями водопоглощения этого же стеклопластика без защитного покрытия. Каких-либо повреждений поверхности, изменения формы и геометрических размеров испытываемых изоляционных основ из нового материала за время испытаний не было отмечено.

Исследования образцов нового композиционного электроизоляционного материала на испытательной электромеханической машине Н100KS показали практически двойное увеличение предела прочности при сжатии, которое составляло не менее 500 МПа, по сравнению с материалом изоляционных основ анодов типа АКК-4-М, где эта величина находилась в пределах 250–300 МПа.

### Конструктивная прочность

Для увеличения надежности при ледовых нагрузках новых анодов была произведена модернизация взятой за основу конструкции анодов типа АКК-4-М. Осуществлено увеличение прочности

РИС. 7. Новые корпусные крупногабаритные ледостойкие аноды



Анод АКЛ-3МУ  
для установки на протяженных  
участках корпуса

Анод АКЛ-2МУ  
для установки на криволинейных  
участках корпуса

### ФАКТЫ Резиновое покрытие

в конструкции анода  
позволяет поглощать  
до 50% энергии удара  
льдов

механического крепления защитного титанового листа к изоляционной основе за счет усиления крепежных титановых шпилек. Снижена вероятность разгерметизации монтажных отверстий анода вследствие вибрационного самоотвинчивания титановых заглушек защитного листа путем уменьшения шага резьбы и фиксацией специальным составом соединения заглушка-титановый лист. Исключение продавливания титановых заглушек льдом обеспечено их упором в изоляционную основу при окончательной сборочной затяжке.

Благодаря наличию в конструкции анода резинового покрытия, оказывающего демпфирующее свойство в гибридной структуре стеклопластик / резина / титан, поглощая до 50% энергии удара льдов, уменьшен риск разгерметизации корпусных сальниковых уплотнений токоподводов анода в условиях высоких вибраций корпуса, возникающих при движении ледокола во льдах [15].

Для предотвращения возможного замыкания рабочих электродов увеличена ширина паза в титановом листе под платино-ниобиевые пластины с 20 до 30 мм. Прочность крепления рабочих электродов достигнута путем их фиксации в изоляционной основе с помощью резьбовых соединений.

На основе результатов работ по совершенствованию конструкции анода с защитным титановым листом, разработанного структурированного платино-ниобиевого анодного материала для изготовления рабочих электродов и высокопрочного химически стойкого электроизоляционного материала для получения изоляционных основ, были созданы новые ледостойкие аноды типа АКЛ-2МУ и АКЛ-3МУ (рис. 7), обладающие повышенной механической надежностью и увеличенным сроком службы при эксплуатации в условиях Арктики.

Аноды типа АКЛ-2МУ в количестве 112 штук были установлены и успешно эксплуатируются на МЛСП «Приразломная» с момента сдачи системы катодной защиты в марте 2012 года. Аноды этого же типа применяются на строящейся серии пограничных патрульных кораблей ледового класса для

ТАБЛИЦА 3. Технические характеристики ледостойких анодов

Тип анода	Категория ледового усиления судов	Защитный лист	Ток, А	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
АКЛ-М	Ice1– Ice3, Arc4 – Arc6,	нет	20	15,5	Ø500×45
АКЛ-2М	Icebreaker6	нет	30	46,5	Ø900×45
АКЛ-2МУ	Arc7–Arc9, Icebreaker7–	есть	30	66	Ø900×45
АКЛ-3МУ	Icebreaker9	есть	40	85	1380×800×45

Арктики проекта 23550 «Ермак». Аноды типа АКЛ-3МУ в количестве 10 штук поставлены в ФГУП «Атомфлот» для частичной замены анодов типа АКК-М-4 системы катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы», а также включены в проектную документацию нового атомного ледокола проекта 10510 «Лидер».

С учетом новых разработок в НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» на сегодняшний день имеется возможность изготовления и поставки на судостроительные предприятия ледостойких платино-ниобиевых анодов с различной степенью усиления и токоотдачей для судов любого ледового класса (табл. 3).

### Заключение

На основе опыта эксплуатации анодов типа АКК-М-4 в составе системы катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы» в НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» созданы новые ледостойкие аноды типа АКЛ-2МУ и АКЛ-3МУ, имеющие значительно повышенный уровень эксплуатационных свойств за счет:

- более высокой конструктивной прочности изоляционной основы анода, обеспечиваемой ее изготовлением методом горячего прессования из высокопрочного эпоксидного стеклопластика марки СТЭТ-1, имеющего предел прочности при сжатии не менее 500 МПа, по сравнению с анодами типа АКК-4-М, где эта величина составляет 250–300 МПа;
- повышенной химической стойкости изоляционной основы, обеспечиваемой формированием в процессе единовременного горячего прессования изоляционной основы из СТЭТ-1 наружного слоя из химически стойкой в активном хлоре специальной силиконовой резины марки «Пентасил-1513»;
- повышенной надежности механического крепления защитного титанового листа и рабочих электродов к изоляционной основе и прочности крепления титановых заглушек;
- увеличения срока службы анодов до 25 и более лет за счет применения структурированного платинового покрытия рабочих электродов с пониженной скоростью анодного растворения платины и повышенной прочностью сцепления платинового покрытия с ниобиевой подложкой.

Применение ледостойких анодов АКЛ-2МУ и АКЛ-3МУ в системах катодной защиты позволит обеспечить надежную и эффективную защиту

от коррозионных и коррозионно-эрозионных разрушений корпусов ледоколов, в том числе атомных, и металлоконструкций, предназначенных для эксплуатации в Арктике на весь их срок службы без замены и ремонта. ●

### Литература

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. [Электронный ресурс]: URL: <http://government.ru/info/18360> (дата обращения: 29.02.2016).
2. Кондратов Николай Александрович. Освоение Арктики: стратегические интересы России. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2014, № 1, с. 120–126.
3. Подоплёткин А.О. Арктика как объект геополитических интересов неарктических государств // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки, 2011, № 2, с. 40–45.
4. На судостроительных предприятиях // Судостроение, 2015, № 3, с. 3.
5. В.С. Никитин, В.Н. Половинкин, Ю.А. Симонов и др. Развитие морской деятельности в российской Арктике // Арктика: экология и экономика, 2015, № 2 (18), с. 81–87.
6. К.К. Ованесьян, А.А. Харьков, В.Б. Логинов. «Исследования причин интенсивного коррозионного износа наружной обшивки корпусов ледоколов» // Технология судостроения, 1990, № 3, с. 15–18.
7. Горынин И.В., Легостаев Ю.Л., Малышевский В.А. Конструкционные материалы для освоения углеводородных месторождений арктического шельфа // Судостроение. № 4, 1999, с. 54.
8. Цой Л.Г., Легостаев Ю.Л., Кузьмин Ю.Л. Атомный ледокол нового поколения в ржавом корпусе // Атомная стратегия. Август 2014, с. 24–27.
9. О.Э. Суров, В.А. Компанец. Исследование характера коррозионного разрушения листов наружной обшивки ледового пояса судов из стали 09Г2 // Черные металлы. 2015, № 10, с. 39–44.
10. А.С. Орыщенко, Ю.Л.Кузьмин, В.Н. Троценко и др. Долговременная электрохимическая защита от коррозионно-эрозионных разрушений недокуемых морских сооружений для нефтегазодобычи на шельфе Арктических морей // Практика противокоррозионной защиты. 2013, № 2 (68), с. 56–68.
11. Кузьмин Ю.Л., Ставицкий О.А. Катодная защита наложенным током – современный высокоэффективный способ долговременной защиты судов и морской техники от коррозии // Судостроение, 2012, № 4, с. 46–51.
12. Дэвид Петерс. Коррозия в Канадской Арктике. Арктика – последний вызов. Материалы международной конференции «Предотвращение морской коррозии», Лондон, 1996, с. 34–43.
13. Катодная защита стальных вышек в Северном море // Р.Ж. № 6, 1992.
14. Катодная защита в Арктических водах // «Mater. perform», № 2, 30, 1991.
15. Sarlin E., Apostol M., Lindroos M., Kuokkala V.-T., Vuorinen J. Impact properties of novel corrosion resistant hybrid structures. Ударные свойства новых коррозионноустойчивых гибридных структур // Compos. Struct, 2014. 108, с. 886–893. Англ.

KEYWORDS: cathodic protection, anticorrosive coatings, nuclear icebreaker, marine equipment, Arctic.

### ФАКТЫ

# 10

анодов типа АКЛ-3МУ заменили аноды типа АКК-М-4 в системе катодной защиты атомного ледокола «50 лет Победы»

# КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И АРКТИКА: воздействие космических лучей на водную среду

Абатуров Михаил Анатольевич  
ФГБУ ИФХЭ РАН

Сиротинский Юрий Владимирович  
ФГБУ ИФХЭ РАН

ОСВОЕНИЕ ШЕЛЬФА АРКТИКИ СОПРЯЖЕНО С РЕШЕНИЕМ ЦЕЛОГО КОМПЛЕКСА РАЗЛИЧНЫХ ПРОБЛЕМ. ОДНОЙ ИЗ ТАКИХ ПРОБЛЕМ ЯВЛЯЮТСЯ ВОПРОСЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ. В ЭТОМ ПЛАНЕ ПОЛЯРНЫЕ РЕГИОНЫ НАряду с экстремальными климатическими условиями характеризуются также подверженностью влияния космических факторов. Это обусловлено спецификой распределения геомагнитного поля. ТЕМА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРИОБРЕТАЕТ АКТУАЛЬНОСТЬ НЕ ТОЛЬКО В СВЯЗИ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ, НО И В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ С ЕЕ СЛАБОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ ЗАЩИЩЕННОСТЬЮ. В НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЕ РАССМАТРИВАЕТСЯ ОДИН ИЗ ЧАСТНЫХ ВОПРОСОВ – ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ОТ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИЛОСЬ ВО ВРЕМЯ ПОВЫШЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПОСЛЕДНЕГО 24-ГО ЦИКЛА ШВАБЕ. В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОВОДИЛСЯ МОНИТОРИНГ ТОКА В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ. НАБЛЮДАЕМЫЕ ВАРИАЦИИ ТОКА В ТЕЧЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ СУТОК СОПОСТАВЛЯЛИСЬ С ВОЗМУЩЕНИЯМИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ. БЫЛИ ВЫЯВЛЕНЫ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ЦИРКАДНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ. КРОМЕ ТОГО, НАБЛЮДАЛСЯ РЕЗКИЙ СПАД ТОКА, СОВПАДАЮЩИЙ С МОМЕНТОМ МАГНИТНОЙ БУРИ. ЭТО ЯВЛЕНИЕ МОЖНО ОБЪЯСНИТЬ ИЗВЕСТНЫМ ЭФФЕКТОМ ФОРБУШ-СПАДА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ. ДАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАЛО ЯВНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ВОДНОЙ СРЕДЫ ОТ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ. ОПИСАННАЯ МЕТОДИКА МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ В ПРЕДСТОЯЩИЙ 25-Й ЦИКЛ ШВАБЕ. ЭТО НЕОБХОДИМО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ, А ТАКЖЕ МОЖЕТ ИМЕТЬ ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

*THE DEVELOPMENT OF THE ARCTIC SHELF INVOLVES SOLVING A WHOLE RANGE OF DIFFERENT PROBLEMS. ONE OF SUCH PROBLEMS IS THE ISSUES OF HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY. IN THIS REGARD, THE POLAR REGIONS, ALONG WITH EXTREME CLIMATIC CONDITIONS, ARE ALSO CHARACTERIZED BY EXPOSURE TO THE INFLUENCE OF COSMIC FACTORS. THIS IS DUE TO THE SPECIFICS OF THE DISTRIBUTION OF THE GEOMAGNETIC FIELD. THE TOPIC OF SPACE WEATHER IS CURRENTLY BECOMING RELEVANT NOT ONLY IN CONNECTION WITH THE SAFETY OF SPACE FLIGHTS, BUT ALSO IN CONNECTION WITH THE DEVELOPMENT OF THE ARCTIC WITH ITS WEAK GEOMAGNETIC PROTECTION. THE STUDY WAS CONDUCTED DURING THE INCREASED SOLAR ACTIVITY OF THE LAST 24 SCHWABE CYCLE. UNDER LABORATORY CONDITIONS, THE CURRENT IN THE ELECTROCHEMICAL CELL WAS MONITORED. THE OBSERVED CURRENT VARIATIONS WERE COMPARED WITH THE DISTURBANCES OF THE GEOMAGNETIC FIELD FOR SEVERAL DAYS. CERTAIN CIRCADIAN PATTERNS WERE IDENTIFIED. IN ADDITION, THERE WAS A SHARP DROP IN THE CURRENT, COINCIDING WITH THE MOMENT OF THE MAGNETIC STORM. THIS PHENOMENON CAN BE EXPLAINED BY THE WELL-KNOWN FORBUSH-EFFECT – THE DECREASE OF COSMIC RAYS WITH INCREASED SOLAR ACTIVITY. THIS STUDY SHOWED A CLEAR DEPENDENCE OF THE PROPERTIES OF THE AQUATIC ENVIRONMENT ON THE FACTORS OF SPACE WEATHER. THE DESCRIBED METHODOLOGY CAN BE USED TO ORGANIZE MONITORING IN THE ARCTIC REGIONS IN THE UPCOMING 25 SCHWABE CYCLE. THIS IS NECESSARY FOR SOLVING BOTH FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS*

Ключевые слова: гидрометеорология, водная среда, космические лучи, геомагнитная защищенность, освоение Арктики.

Проблемы гидрометеорологии и окружающей среды в Арктике всегда имели большое значение. Это обусловлено целым рядом факторов, таких как экстремальные климатическими условиями, труднодоступные неосвоенные территории, сложности ледовой морской обстановки. Но, кроме этих очевидных моментов, в настоящее время становятся актуальными и новые аспекты этой проблемы, связанные с факторами космической среды.

В целом совокупность основных параметров, характеризующих состояние космической среды, принято обобщать таким понятием, как космическая погода. Это понятие приобрело значимость в связи с освоением околоземного космического пространства, с предстоящими полетами на Луну и на Марс. В России была создана специальная служба космической погоды – «Центр прогнозов космической погоды ИЗМИРАН». Центр проводит мониторинг по многим параметрам космической среды, данные доступны на сайте в Интернете. Основными определяющими факторами являются солнечный ветер и космические лучи, а также возмущения геомагнитного поля. Эти факторы определяют не только состояние космической среды, но оказывают влияние на окружающую среду и на Земле [1, 2].

## ФАКТЫ

### Форбуш- эффekt

– понижение интенсивности космических лучей, вызванное экранированием окрестностей Земли потоком высокоскоростной плазмы солнечного ветра

Так, например, вспышки на Солнце и порывы солнечного ветра приводят к возмущениям геомагнитного поля, что сказывается и на работе электронных систем, и на состоянии здоровья метеочувствительных людей. Другой фактор, космические лучи, также оказывает влияние на состояние окружающей среды на Земле [3]. Космические лучи, обладая большой энергией, создают в нижних слоях атмосферы многочисленные каскадные потоки в виде широких атмосферных ливней вторичных частиц [4]. Благодаря ионизирующим свойствам, эти частицы приводят к процессам радиолитизации, инициализируют конденсацию паров в атмосфере, что приводит к интенсивному образованию облачности [5, 6]. Более того, именно космические лучи высоких энергий, создавая специфический эффект пробоя на убегающих электронах, являются первопричиной возникновения

грозовых электрических разрядов в атмосфере [7]. В целом факторы космической погоды оказывают глобальное влияние на изменения климата на Земле [8].

Для Арктики факторы космической погоды имеет принципиальное значение, так как полярные регионы лишены защитных свойств такого важного для Земли барьера, как геомагнитное поле. В результате Арктика оказалась в максимальной степени подвержена воздействию различных явлений космической среды [9]. Наглядным примером незащищенности Арктики являются полярные сияния, характерные именно для полярных регионов. Этот эффект возникает под действием плазменных потоков солнечного ветра, достигающих верхних слоев атмосферы в приполярных областях, близких к особым незащищенным зонам полярных касп в структуре геомагнитного поля [10].

Приведенное рассмотрение подтверждает то, что космические факторы, несмотря на кажущуюся защищенность Земли, оказывают принципиальное влияние на состояние ее среды. Это особенно актуально для арктических регионов и требует всестороннего изучения.

Один из частных вопросов указанной проблемы связан с влиянием космических факторов на свойства водной среды. Изучению этого вопроса был посвящен ряд исследований, в которых был обнаружен эффект закономерных циклических вариаций величины тока между электродами лабораторной электрохимической ячейки [11]. В этих работах было установлено то, что наблюдаемые вариации хорошо согласуются с такими геокосмическими событиями, как солнечно-лунные приливы, солнечные затмения и др. Ряд исследований был проведен специально в арктическом регионе на Кольском полуострове [12]. Но, тем не менее, этот вопрос еще недостаточно изучен. В настоящей работе ставится задача подтвердить указанные эффекты в электрохимической системе, дать им обоснование, исходя из конкретных событий космической погоды.

## Постановка эксперимента и результаты

В наших исследованиях в качестве объекта изучения использовалась электрохимическая ячейка, заполненная деионизированной водой. В ячейку помещались два электрода из инертного материала, в данном случае из нержавеющей стали. К электродам прикладывалось незначительное постоянное напряжение, недостаточное для протекания электролиза, но обеспечивающее протекание регистрируемого электрического тока. Методика измерений соответствовала описанию в работе [11].

Для наиболее четкого проявления факторов космической погоды, исследования проводились в фазе повышенной солнечной активности текущего 11-летнего цикла. Этот период соответствовал 24-му циклу Швабе. Мониторинг тока в электрохимической ячейке проводился в лаборатории ИФХЭ РАН, г. Москва. Влияние вариаций таких локальных факторов, как температура, освещенность, содержание углекислого газа и кислорода в атмосфере в данном случае было исключено, так как мониторинг проводился в стабильных лабораторных условиях с соблюдением режима «нормальных условий».

Для подробного рассмотрения был выбран интервал в несколько суток, охватывающий момент заметного геомагнитного возмущения. Данные геомагнитной

## ФАКТЫ

# 24

циклу Швабе соответствует 11-летний цикл, в фазе повышенной солнечной активности которого проводились исследования

обстановки были взяты с сайта ИЗМИРАН (<http://spaceweather.izmiran.ru>). График вариаций измеряемого тока в ячейке и график геомагнитных возмущений представлены на рис. 1 в единой временной шкале для возможности их сопоставления.

## Анализ результатов

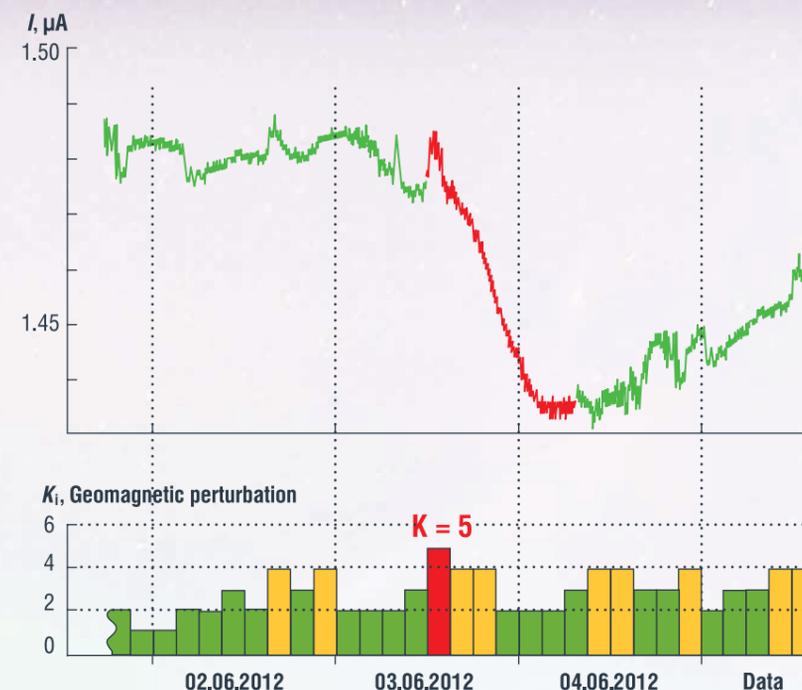
При рассмотрении графика вариаций тока на представленном интервале можно отметить наличие характерных незначительных циркадных изменений, в общих чертах соответствующих ритмам, обнаруженным в работе [11]. В то же время на этом графике обращает внимание резкий спад хода кривой. Момент указанного спада, как видно из графиков, совпадает с моментом заметного геомагнитного возмущения.

Отмеченное возмущение оценивается достаточно большим индексом  $K = 5$ . Но, тем не менее, эти вариации магнитного поля слишком малы и не превосходят величины  $\sim 10^{-7}$  Тл. Такие незначительные вариации, даже в случае 9-балльной бури, не могут вызывать какие-либо заметные магниторезистивные или магнитогидродинамические эффекты в электрохимической системе [13]. Для проявления таких эффектов напряженность магнитного поля должна быть на несколько порядков выше. Следовательно, магнитная буря в любом случае сама по себе не может быть непосредственной причиной наблюдаемого резкого спада тока.

Отмеченная связь спада тока и магнитного возмущения может быть косвенной и являться проявлением более сложных взаимосвязей различных факторов космической погоды.

Следует учесть, что возмущения геомагнитного поля в основном обусловлены порывами плазменного солнечного ветра. Более того, этот ветер способен «выдувать» из области гелиосферы потоки галактических космических лучей, модулировать их интенсивность. Соответствующий эффект спада космических лучей, известный как форбуш-спад, будет происходить в моменты повышенной солнечной активности, в моменты геомагнитных возмущений [6]. В таком случае именно форбуш-спад космических лучей, обладающих способностью

РИС. 1. Вариации тока в электрохимической ячейке во время геомагнитных возмущений



к каскадному образованию широких атмосферных ливней ионизирующих вторичных частиц, может быть достаточно весомой непосредственной причиной наблюдаемого спада тока в ячейке во время геомагнитной бури. При этом магнитная буря служит только косвенным указателем на возможный эффект форбуш-спада.

Приведенный анализ резкого спада кривой тока позволяет предположить, что основной причиной регистрируемого тока в электрохимической системе с деионизированной водой являются космические лучи, выполняющие некую активирующую роль. Такое предположение согласуется и с наблюдаемым эффектом циркадных вариаций тока. Известно, что космические лучи характеризуются выраженным анизотропным пространственным распределением [3]. Соответственно, суточное вращение Земли в таком анизотропном поле может быть причиной наблюдаемых циркадных вариаций тока в ячейке.

Выяснение внутреннего механизма вариаций тока в ячейке требует специального рассмотрения. Этому вопросу была посвящена работа [14], где был обнаружен эффект спонтанного образования в воде наночастиц металла электродов, сопровождающийся вариациями тока. Данный эффект каким-то опосредованным образом может быть обусловлен воздействием космических лучей и требует проведения дополнительных исследований.

## Выводы

Данное исследование показало явную связь свойств водной среды с факторами космической погоды. Описанная методика может быть использована для организации мониторинга в Арктических регионах в предстоящий 25-й цикл Швабе. ●

Работа выполнена при бюджетном финансировании Минобрнауки РФ в соответствии с текущим государственным заданием ИФХЭ РАН

## Литература

- Белов А.В., Ерошенко Е.А., Гущина Р.Т., Дорман Л.И., Оленева В.А., Янке В.Г. Вариации космических лучей как инструмент для изучения солнечно-земных связей. С. 258–284 // Статья в сборнике «Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли». Изд.: ИЗМИРАН. М., 2015.
- Райченко Л.В., Мельник Г.В. Космические источники ионизации земной атмосферы (обзор) // Геофизический журнал, № 3, Т. 39, 2017, с. 40–63, DOI:10.24028/gzh.0203-3100.v39i3.2017.104031.
- Бережко Е.Г., Крымский Г.Ф., С.Н. Вернов и исследования космических лучей в Якутии // УФН. 2011, № 2. С. 223–229. DOI: 10.3367/UFN.0181.201102m.0223.
- Добротин И.А., Зацепин Г.Т., Розенталь И.Л., Сарычева Л.И., Христиансен Г.Б., Зайдус Л.Х. Широкие атмосферные ливни космических лучей // Успехи физических наук. 1953. Т. XLIX, вып. 2, с. 185–242.
- Махмутов В.С., Стожков Ю.И., Международный эксперимент CLOUD: частицы и облака. // Природа. Изд. Наука, М., 2012, №12, с. 27–33.
- Ролдугин В.К., Белоголов М.И. Амплитуда Шумановского резонанса во время Форбуш-эффекта // Геомагнетизм и аэронавигация, 2008, Т. 48, № 6, с. 803–809.
- Гуревич А.В., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // Успехи физических наук. 2001. № 11. С. 1177–1199. DOI:10.3367/UFN.0171.200111b.1177.
- Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Основные физические процессы в атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX в. и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 18. С. 40–50.
- Дорман Л.И., Смирнов В.С., Тясто М.И. Космические лучи в магнитном поле Земли. – М.: Наука, 1971. – 400 с.
- Кирпичев И.П. Характеристики распределения частиц в области каспа, внешней области кольцевого тока и ближнем плазменном слое магнитосферы Земли. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.ф.-м.н. М., 2007, 14 с.
- Цетлин В.В., Файнштейн Г.С. Исследования реакции воды на воздействие космофизических и геофизических факторов окружающего пространства // Сложные системы, 2013, № 2 (7), С. 65–81.
- Муравьев С.В., Цетлин В.В., Белишева Н.К., Сенсорные свойства воды как индикатор вариаций космо-геофизических агентов // Труды Кольского научного центра РАН, 2015, № 6, С. 54–58.
- Бограчев Д.А., Давыдов А.Д. Оптимизация процесса электролиза во вращающейся в магнитном поле цилиндрической электрохимической ячейке // Электрохимия, 2010, том 46, № 3, с. 346–351.
- Касаткин В.Э., Тьтик Д.Л., Ревина А.А., Бусев С.А., Абатуров М.А., Высоцкий В.В., Ролдугин В.И., Казанский Л.П., Кузьмин В.И., Гадзаев А.Ф., Цетлин В.В. Электрохимический синтез наночастиц железа и платины в деионизированной воде // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2015, том 51, № 6, с. 618–624 DOI: 10.7868/S0044185615060121.

KEYWORDS: hydrometeorology, aquatic environment, cosmic rays, geomagnetic protection, Arctic exploration.

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАБОТ в северных широтах

В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ ОСОБОЕ ВНИМАНИЕ СЛЕДУЕТ УДЕЛЯТЬ СОСТАВЛЕНИЮ ПРОГНОЗОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ И СКОРОСТИ ВЕТРА, УХУДШЕНИЮ ВИДИМОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЯХ, ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА (ОСОБЕННО В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ СЕЗОН). ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ СУЩЕСТВУЕТ СЕТЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, РАБОТА КОТОРЫХ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В МОНИТОРИНГЕ АТМОСФЕРЫ И ИЗМЕНЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И В ВЕРХНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ, А ТАКЖЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА В МОРЕ И НА РЕКАХ. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ КРУПНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ МИРА, СПУТНИКОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ, РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОГОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСПЕШНО ИСПОЛЗУЮТСЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДЫ, НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ И ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГИДРОМЕТЦЕНТРЕ ФГБУ «СЕВЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ». ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УДОБСТВА ПРИЕМА И ПЕРЕДАЧИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ФГБУ «СЕВЕРНОЕ УГМС» МОДЕРНИЗИРУЕТ СЕТЬ НАБЛЮДЕНИЙ И ОСНАЩАЕТ ОТДЕЛЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ И ПРОГРАММАМИ

УДК 551.5

*IN THE DIFFICULT CLIMATIC CONDITIONS OF THE ARCTIC, SPECIAL ATTENTION SHOULD BE PAID TO MAKING FORECASTS FOR THE DIRECTION AND SPEED OF THE WIND, THE DETERIORATION OF VISIBILITY UNDER VARIOUS ATMOSPHERIC PHENOMENA, AIR TEMPERATURE (ESPECIALLY IN THE AUTUMN-WINTER SEASON). FOR CONTINUOUS MONITORING OF THE ACTUAL WEATHER, THERE IS A NETWORK OF METEOROLOGICAL STATIONS WHOSE WORK CONSISTS IN MONITORING THE ATMOSPHERE AND CHANGES IN METEOROLOGICAL VALUES AT THE EARTH'S SURFACE AND IN THE UPPER LAYERS OF THE ATMOSPHERE, AS WELL AS THE STATE OF THE ICE COVER IN THE SEA AND ON RIVERS. GLOBAL AND REGIONAL NUMERICAL MODELS OF ATMOSPHERIC CIRCULATION OF MAJOR METEOROLOGICAL CENTERS OF THE WORLD, SATELLITE INFORMATION, VARIOUS CALCULATION METHODS OF WEATHER ELEMENTS ARE SUCCESSFULLY USED TO PREDICT WEATHER, ADVERSE AND DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA IN THE HYDROMETEOROLOGICAL CENTER OF THE FSBI "NORTHERN DEPARTMENT OF HYDROMETEOROLOGY AND ENVIRONMENTAL MONITORING". FOR THE EFFICIENCY AND CONVENIENCE OF RECEIVING AND TRANSMITTING METEOROLOGICAL INFORMATION, THE FSBI "NORTHERN DEPARTMENT OF HYDROMETEOROLOGY AND ENVIRONMENTAL MONITORING" IS MODERNIZING THE OBSERVATION NETWORK AND EQUIPPING THE FORECASTING DEPARTMENTS WITH MODERN EQUIPMENT AND PROGRAMS*

Ключевые слова: климатические показатели, мониторинг окружающей среды, неблагоприятные гидрометеорологические явления, метеорологические станции, спутниковые данные.

**Рюмина Татьяна Николаевна**  
ведущий специалист  
Гидрометцентра  
ФГБУ «Северное УГМС»

В условиях падающей добычи на месторождениях традиционных регионов основные надежды нефтяных компаний связаны с освоением арктических территорий. Эффективность промысловой деятельности в этом регионе со сложно предсказуемыми климатическими условиями напрямую зависит от точности и детальности прогнозов.

В настоящее время на территории Архангельской и Вологодской областей, Республики Коми, Ненецкого автономного округа, севера Ямало-Ненецкого автономного округа, Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района Красноярского края, акваториях Белого и Карского морей, юго-восточной части Баренцева

**Цыплакова Людмила Витальевна**  
начальник Гидрометцентра  
ФГБУ «Северное УГМС»

**Ершов Роман Викторович**  
начальник  
ФГБУ «Северное УГМС»



моря и западной части моря Лаптевых осуществляет свою деятельность ФГБУ «Северное УГМС» – одно из крупнейших управлений Росгидромета. Предприятие обеспечивает органы государственной власти, население и промышленные предприятия информацией о фактических и ожидаемых гидрометеорологических условиях, о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, об особо опасных гидрометеорологических явлениях. ФГБУ «Северное УГМС» является основным центром организации и проведения научно-исследовательских экспедиций в Арктике. Управление располагает тремя судами: научно-экспедиционное «Михаил Сомов», научно-исследовательские «Иван Петров» и «Профессор Молчанов», которые активно осуществляют рейсы по всей трассе Северного морского пути.

Кроме этого, суда выполняют завоз материально-технических средств, оборудования, личного состава на труднодоступные и полярные метеостанции как Северного УГМС, так и соседних Чукотского и Якутского УГМС.

На специализированном гидрометеорологическом обслуживании находятся предприятия наиболее погодозависимых отраслей экономики – топливно-энергетическая, газонефтяная, жилищно-коммунальное хозяйство, морской, внутренний водный и железнодорожный транспорт, дорожное хозяйство, строительство, различные промышленные предприятия, лесное и сельское

хозяйство, а также научно-исследовательские учреждения.

Гидрометцентр Северного УГМС имеет большой опыт работы по обеспечению погрузочно-разгрузочных работ, перегонов и буксировок судов. Прогнозы погоды, волнения и ледовитости морей, штормовые предупреждения о возникновении неблагоприятных (НЯ) и опасных (ОЯ) гидрометеорологических явлений составляются как по обслуживаемой территории, так и по маршрутам следования судов.

Большая протяженность территории ответственности с запада на восток и разнообразие физико-географических условий определяют важность ежедневного мониторинга фактической погоды на сети метеорологических станций и составления прогнозов развития

гидрометеорологических условий различной заблаговременности.

Природные условия Арктики характеризуются высокой повторяемостью неблагоприятных и опасных метеорологических явлений, таких как сильный ветер, метели, туманы.

Ярким примером штормового ветра и сильной метели может служить 21–22 февраля 2013 года, когда на акватории Карского и юго-востока Баренцева морей, на территории Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов наблюдался юго-западный ветер со средней скоростью 19–24 м/с и порывами до 30–35 м/с (39 м/с в п. Сяяха), а также сильная метель с видимостью менее 50 м. Усиление ветра до ураганного происходило на южной периферии глубокого циклона (минимальное



давление в центре 968 мб), при прохождении холодного атмосферного фронта.

Большинство из этих явлений связаны с активными циклонами, траектории смещения которых зачастую проходят с Атлантики через акватории Баренцева и Карского морей. Наибольшая повторяемость циклонов в Российской Арктике приходится на холодный период года. Так, в зимний период среднее число дней с циклонической циркуляцией варьируется от двадцати одного до двадцати трех, из них с глубокими циклонами (атмосферное давление в центре менее 990 гПа) – пять-семь дней. В среднем за месяц в холодный сезон отмечается прохождение трех-четырёх циклонических центров.

Поэтому выделение на картах погоды крупномасштабных атмосферных возмущений (циклонов) и определение местоположения атмосферных фронтов является основной задачей синоптического анализа.

Для этого и существует сеть метеорологических станций, работа которых состоит в наблюдении за атмосферой и изменением метеорологических величин в приземном слое. Метеоданные, собранные с обширной сети метеорологических станций, наносятся особыми значками и цифрами на географические карты, анализ которых и позволяет выявлять в тот или иной отрезок времени барические образования и атмосферные фронты.

Немаловажное значение для анализа синоптической ситуации имеет радиозондирование атмосферы. На территории Северного УГМС расположены одиннадцать аэрологических станций, в том числе и на арктической территории. Запуски метеорологических зондов проводятся два раза в сутки в 00 и 12 ВСВ.

В результате зондирования атмосферы синоптик получает информацию о температуре, влажности, направлении и скорости ветра на различных высотах, которые представлены в виде аэрологической диаграммы. При обработке диаграммы наносятся тропопауза, струйные течения, слои инверсии и изотермии, уровни конденсации и конвекции, зоны обледенения и болтанки

с соответствующими высотами, вероятные зоны наличия облаков слоистых форм.

Информация со всех аэрологических станций представлена и проанализирована на картах абсолютной топографии стандартных барических поверхностях 850, 700, 500 и т.д.

Существенным дополнением к гидрометеорологическим данным наземной наблюдательной сети и результатам радиозондирования атмосферы является космическая информация. Специалистами

**Наибольшая повторяемость циклонов в Российской Арктике приходится на холодный период года, зимой среднее число дней с циклонической циркуляцией варьируется от 21 до 23, из них с глубокими циклонами 5–7 дней**

Гидрометцентра в оперативной работе используются ИК- и ТВ-снимки с искусственных спутников Земли (ИСЗ) Sentinel, Radarsat, MODIS, NOAA. Приемная аппаратура фирмы «СканЭкс» и программные средства обработки позволяют осуществлять коррекцию географической привязки.

Файлы содержащие ИК- и ТВ-изображения с орбитальных спутников можно занести в базу данных программного комплекса ГИС Метео. С помощью компоненты «Траектории» можно построить перемещение точки, зоны или линии по аэрологическим данным о скорости и направлении ветра или по прогностическим данным, поступающим в коде ГРИБ.

Незаменимым помощником при составлении краткосрочных прогнозов и штормовых предупреждений стали доплеровские метеорологические радиолокаторы. На территории Северного УГМС на данный момент работают три локатора в городах Архангельске, Вологде и Котласе.

Вся метеорологическая информация стекается во всемирные метеорологические центры, где разрабатываются глобальные (GFS, GEM, ICON и др.) и региональные (например, COSMO) числовые модели циркуляции атмосферы, которые в виде карт и диаграмм используются синоптиками для составления прогнозов.

Отдел метеопрогнозов Северного УГМС занимается составлением ежедневных гидрометбюллетеней; прогнозов погоды по районам и пунктам, рекам и акваториям морей на различные сроки от трех часов до пяти суток; прогнозов пожароопасности лесов. Особое внимание уделяется предупреждению и своевременному доведению до всех структур информации об опасных гидрометеорологических явлениях, таких как сильные осадки и ветер, продолжительные метели, гололедные явления и

продолжительные морозы; резкие изменения погоды и заморозки; грозы, град и шквалы.

Особое внимание в Архангельском Гидрометцентре уделяется мониторингу ледовой обстановки, а также составлению прогнозов развития ледовых условий различной заблаговременности для осуществления морской деятельности в Арктике.

Прибрежные гидрометеостанции следят за состоянием ледового покрова в море. Информация об основных характеристиках ледовой обстановки, а именно о количестве, сплоченности и возрасте дрейфующего льда, состоянии припая, толщине неподвижного льда, торосистости и т.д. ежедневно передается в Гидрометцентр.

По спутниковым данным удается проследить за сроками начала появления льда в открытом море, форме, количестве и сплоченности плавучего льда.

Кроме того, по спутниковым снимкам можно наблюдать за тем, как происходит таяние и разрушение дрейфующего льда в море, очищение акватории моря ото льда.

На основании полученных оперативных данных осуществляется анализ ледовой ситуации и выпуск прогнозов и консультаций о фактическом и дальнейшем развитии

ледовых условий в море. Дешифрованные спутниковые снимки передаются на борт судов, следующих по трассе СМП, и всем заинтересованным организациям, работающим в Арктике.

После обработки и анализа вышеперечисленной информации, специалисты Гидрометцентра ФГБУ «Северное УГМС» составляют гидрометеорологические прогнозы погоды, волнения и ледовитости морей различной заблаговременности, оправдываемость которых в среднем составляет 95–98%.

Для оперативности и удобства передачи гидрометеорологических прогнозов в Архангельском Гидрометцентре была создана система автоматической передачи прогнозов (САПП), на основе программы 1С Предприятие. Суть этой системы заключается в том, что прогнозы отправляются потребителю непосредственно с рабочего места синоптика сразу же после его создания. В окне «Шаблоны прогнозов» рабочего стола содержится список шаблонов с заранее заданным текстом или таблицей для различных организаций. Для удобства поиска шаблоны разбиты на группы с условными названиями.

Создание прогноза происходит с помощью кнопок «Создать», «Создать прогноз» на панелях инструментов в окнах рабочего стола или методом копирования предыдущего прогноза. Реквизиты (дата и время создания, номер, получатель, ответственный и т.п.) у всех вновь созданных прогнозов заполняются автоматически.

После создания суточного прогноза синоптик по необходимости отправляет его на дополнение другому специалисту (такие прогнозы отображаются в окне «Обработка прогнозов» с указанием необходимой задачи) и затем потребителю гидрометеорологической информации (при установке галочки в графе «отправить» и последующей записи в базу происходит автоматическая отправка прогноза).

Список всех прогнозов (отправленных потребителю или на дополнение) содержится в окне «Прогнозы». Здесь же ведется контроль передачи прогноза потребителю. При необходимости

в данном окне можно произвести отбор отправленных прогнозов по дате подготовки, по получателям или по фамилии ответственного синоптика.

Для оптимизации наблюдений, оперативности передачи информации и гидрометеорологической продукции в ФГБУ «Северное УГМС» проводится глобальное техническое переоснащение.

При поддержке Всемирного банка по Проекту «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета-2» реализуется отдельный контракт по модернизации тридцати трех труднодоступных станций ФГБУ «Северное УГМС».

На каждой из них запланирована замена выработавших ресурс, установленных 10 лет назад по Проекту Росгидромет-1, автоматизированных метеорологических комплексов (АМК). Кроме того, на этих ТДС будут дополнительно установлены весовые датчики осадков. На двадцати одной станции планируется установить датчики метеорологической дальности видимости и датчики продолжительности солнечного сияния, на шестнадцати станциях – датчики высоты нижней границы облаков, на шести станциях – датчики температуры почвы на глубинах. На четырех станциях планируется установка комплекта оборудования для наблюдений за суммарной солнечной радиацией, а на МГ-2 Бугрино – установка полного комплекта актинометрического оборудования.

Планируется модернизация наземной станции приема космической информации с искусственных спутников земли (ИСЗ):

приобретение новой наземной станции «УниСкан» для приема данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в L и X-диапазонах.

В 2022 году планируется провести модернизацию ГИС Метео в прогностических отделах Гидрометцентра ФГБУ «Северное УГМС». Это позволит не только обновить устаревшие компьютеры на более мощные и современные, но и обновить и увеличить компоненты, используемые в работе: например, такие компоненты как «декада» и «климат» позволяют сформировать журнал «Декада – климат» и карты средней декадной и месячной температуры и количества осадков в электронном виде. Дополнительные рабочие места позволяют более оперативно обрабатывать поступающую информацию.

В результате проведения модернизации будут восстановлены наблюдения на ряде ранее закрытых или замороженных пунктах в Арктике; повысится качество наблюдений и гидрометеорологической продукции, оперативность передачи информации и точность прогнозов погоды. ●

KEYWORDS: *climate indicators, environmental monitoring, adverse hydrometeorological phenomena, meteorological stations, satellite data.*



# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ навигационно-гидрографических исследований Арктического бассейна

**Пронин  
Антон Николаевич**

исполняющий обязанности  
генерального директора  
ВНИИМ им. Д.И. Менделеева

**Окрепилов  
Михаил Владимирович**

заместитель генерального  
директора по качеству  
и образовательной деятельности  
ВНИИМ им. Д.И. Менделеева,  
доцент, д.т.н.

**Митько  
Арсений Валерьевич**

главный специалист НИЛ 2450  
ВНИИМ им. Д.И. Менделеева,  
вице-президент Арктической  
общественной академии наук,  
к.т.н.

В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ ВЫДЕЛЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ НА ИЗУЧЕНИЕ МИРОВОГО ОКЕАНА, В ТОМ ЧИСЛЕ НА ИЗУЧЕНИЕ АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА, ОСОБОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИОБРЕТАЮТ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ И УНИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ. ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА И ГРУНТА ДНА НЕОБХОДИМО СОЗДАНИЕ МОРСКИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ. В РАБОТЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ ТЕХНОЛОГИИ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ПРИ СОЗДАНИИ ТАКИХ ПОЛИГОНОВ

*IN MODERN CONDITIONS, WITH A SIGNIFICANT ALLOCATION OF STATE RESOURCES FOR THE STUDY OF THE WORLD OCEAN, INCLUDING THE STUDY OF THE WATER AREA OF THE ARCTIC BASIN, THE TASKS OF OPTIMIZING THE REQUIREMENTS FOR THE METROLOGICAL SUPPORT OF THE DEVELOPED OCEANOGRAPHIC MEASURING INSTRUMENTS AND UNIFICATION OF THE TECHNOLOGIES FOR THEIR OPERATION ARE OF PARTICULAR IMPORTANCE. FOR METROLOGICAL SUPPORT OF MEASUREMENTS OF THE PARAMETERS OF THE RELIEF AND BOTTOM SOIL, IT IS NECESSARY TO CREATE MARINE METROLOGICAL HYDROGRAPHIC AND GEOPHYSICAL POLYGONS. THE PAPER PRESENTS TECHNOLOGIES OF BATHYMETRIC AND GEOPHYSICAL SURVEYS THAT CAN BE USED TO CREATE SUCH POLYGONS*

**Ключевые слова:** освоение шельфа, метрологическое обеспечение, арктический регион, навигационно-гидрографические исследования, средства измерения.

ВНИИМ имени Д. И. Менделеева – преемник Главной палаты мер и весов, Государственный научный центр, подчиняющийся Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

В институте созданы, применяются и совершенствуются семьдесят государственных первичных эталонов, разработаны более пятисот стандартных образцов. Более 70 % российских измерительных и калибровочных

возможностей РФ, включенных в базу Международного бюро мер и весов (МБМВ), внесены Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии (ВНИИМ) имени Д.И. Менделеева.

Институт представляет Россию в восьми из десяти Консультативных комитетах МБМВ. Организация оказывает услуги в области метрологического обеспечения производства продукции: поверка, калибровка и испытания средств измерений в целях утверждения типа для эксплуатации в Арктическом бассейне; разработка и аттестация методик (методов) измерений по всем видам измерений, в т.ч. в таких областях, как: измерение магнитного поля Земли, грави- и электроразведка, сейсморазведка, геологоразведка, физико-химические свойства жидкостей, метрологическое обслуживание парка СИ, разработка методик и совершенствование эталонной базы для обеспечения работы метеорологических систем в условиях Арктики.

Создание системы метрологического обеспечения необходимо для достижения единства и требуемых точности, полноты, своевременности и оперативности измерений в учреждениях различных министерств и ведомств, участвующих в формировании и использовании данных многоуровневой, многопрофильной системы наблюдений за состоянием океана (МСНСО).

Одним из объектов мониторинга, осуществляемого морской наблюдательной системой, является подводный рельеф акваторий – важнейший фактор обеспечения различных видов морской деятельности, в первую очередь – безопасности судоходства. Вследствие рельефообразующих процессов в прибрежной зоне происходит устаревание батиметрической информации. Для обеспечения мониторинга рельефа дна морей России и прилегающих акваторий МСНСО должна включать подсистему морских судов, оснащенных аппаратурой для выполнения батиметрических съемок и обнаружения затонувших объектов, представляющих навигационную опасность, а также авиационную и спутниковую подсистемы, оснащенные аппаратурой дистанционного сбора данных о рельефе дна.

Основным судовым средством обследования рельефа дна в ближайшей перспективе будут многолучевые эхолоты, обеспечивающие увеличение ширины полосы обследования.

Включение в состав гидрографического комплекса профилографа обеспечивает повышение точности съемок за счет учета изменчивости скорости звука в слое воды.

Повышенную производительность съемки обеспечивают дистанционные методы зондирования акваторий. За рубежом наибольшее распространение получили авиационные лазерные и спутниковые радиолокационные системы активного зондирования. На малых глубинах более высокой детальностью обладают фотографические методы.

Основным судовым средством обследования рельефа дна в ближайшей перспективе будут многолучевые эхолоты, обеспечивающие увеличение ширины полосы обследования. Включение в состав гидрографического комплекса профилографа обеспечивает повышение точности съемок за счет учета изменчивости скорости звука в слое воды

Основным недостатком пассивных оптических методов дистанционного зондирования является зависимость от гидрометеорологических условий. Оценки максимального диапазона глубин, определяемых аэрокосмическими методами, показывают, что при максимальной прозрачности воды и высокой отражательной характеристике дна в прибрежных районах глубина, определяемая фотометрическим способом, может достигать первых десятков метров, а при съемке с помощью оптико-электронных систем – до 100 м.

Другой важной составляющей океанографических исследований являются исследования параметров геофизических полей и в первую очередь – гравитационного поля Земли (ГПЗ) и геомагнитного поля (ГМП) на акваториях морей и океанов.

Градиентометрический метод измерения ГМП позволяет повысить точность съемки до 5–10 нТл за счет снижения вариационной погрешности без использования МВС. Отечественные судовые дифференциальные магнитометры могут обеспечить точность съемки до  $\pm 5$  нТл. Для поиска затонувших объектов по магнитному полю требуются придонные (глубоководные)

измерения с разрешающей способностью 0,1 нТл.

Таким образом, высокие требования, предъявляемые к точностям измерений параметров батиметрических и геофизических полей, обуславливают необходимость повышенного внимания к вопросам их метрологического обеспечения.

В настоящее время проведен ряд метрологических разработок в интересах обеспечения единства и точности измерений для таких видов океанографических исследований, как STD-зондирования, наблюдения за уровнем моря, измерения поверхностных скоростей и

полных потоков и т.п. В то же время проблемы метрологического обеспечения батиметрических и морских геофизических съемок еще требуют своего решения.

Для метрологического обеспечения измерений параметров рельефа и грунта дна (включая дистанционное зондирование), а также ГПЗ и ГМП необходимо создание морских метрологических гидрографических и геофизических полигонов (ММГП). В соответствии с требованиями нормативных документов по метрологическому обеспечению измерений морские метрологические полигоны предназначаются:

- для обеспечения предварительной настройки, проверки работоспособности, калибровки аппаратуры в реальных условиях,
- для достижения единства и требуемой точности измерения параметра,
- для аттестации метода выполнения съемки.

Для решения задач метрологического обеспечения гидрографических и геофизических средств измерений ММГП должны удовлетворять следующим требованиям:

1. ММГП должны равномерно размещаться по акваториям,

УДК 006.9

в которых будет осуществляться мониторинг батиметрических и геофизических полей, в районах с характеристиками, охватывающими максимально возможный диапазон измеряемых параметров.

2. Каждый ММГП должен включать низкоаномальные участки.

3. ММГП располагается в зоне действия контрольно-корректирующей станции одной из локальных дифференциальных подсистем ГЛОНАСС.

4. В ММГП выполняются детальные гидрографические и геофизические съемки.

5. В ММГП оборудуются опорные гидрографические и геофизические пункты (ОГП).

Кроме того, для обеспечения гидрографических работ ММГП оборудуется:

- постоянным или временно устанавливаемым уровнем постом для учета высоты мгновенного уровня над принятым нулем глубин.
- целями-имитаторами объектов на дне, подлежащими выявлению при съемке аттестируемыми средствами.

Съемка рельефа дна в ММГП должна быть произведена методом сплошного покрытия. СКП определения глубин и их привязки не должны превышать следующих значений:

- для глубин в диапазоне от 0 до 100 метров:

$$\sigma_z \leq 0.16\sqrt{0.5^2 + (0.013z)^2}$$

$$\sigma_{xy} \leq 0.16\sqrt{5^2 + (0.05z)^2}$$

- для глубин от 100 до 200 метров:

$$\sigma_z \leq 0.16\sqrt{1 + (0.0023z)^2}$$

$$\sigma_{xy} \leq 0.16\sqrt{20 + (0.05z)^2}$$

- для глубин свыше 200 метров:

$$\sigma_z \leq 0.3\%,$$

$$\sigma_{xy} \leq 0.5 \text{ мм}$$

(в масштабе съемки).

$\sigma_z$ ,  $\sigma_{xy}$  – СКП соответственно измерений глубины и ее плановой привязки (м);

$z$  – глубина данной точки ММГП (м).

Таким образом, качество эталонных образцов параметров, измеряемых гидроакустическими системами, будет определяться точностью и подробностью съемки ММГП.

Для достижения требуемой точности разработана особая технология съемки, суть которой заключается в использовании ОГП на дне с известными глубинами и координатами.

В отечественной практике для приведения измерений к нулю глубин используется две уровенные поверхности:

- для бесприливных морей – средний многолетний уровень моря;
- для приливных морей – низший теоретический уровень.

**Высокие требования, предъявляемые к точностям измерений параметров батиметрических и геофизических полей, обуславливают необходимость повышенного внимания к вопросам их метрологического обеспечения**

Таким образом, единство измерений глубин не обеспечивается. Неудобство использования наинизшего теоретического уровня в качестве нуля глубин для приливных морей заключается в том, что его высота изменяется от места к месту и имеет наклон. Для отсчета высот точек на суше в России используется Балтийская система высот: когда высоты отсчитываются как отрезки нормалей к эллипсоиду, отложенные от поверхности квазигеоида до точек физической поверхности. На морях и океанах квазигеоид совпадает с геоидом. Для обеспечения единства измерений глубин целесообразно ввести единую уровенную поверхность для всех морей. В качестве такой поверхности целесообразно использовать геоид, поверхность которого эквипотенциальна и инвариантна во времени. Для определения положения мгновенной уровенной поверхности может использоваться спутниковая навигационная система в дифференциальном режиме.

Геоид определяется уравнением:

$$W(x, y, z) = W_0,$$

где  $W$  – общий гравитационный потенциал;  $W_0$  – константа, соответствующая принятой модели геоида.

Для обеспечения единства и точности измерений дистанционных средств зондирования акваторий

в состав подсистемы метрологического обеспечения МСНСО должны быть включены также специальные эталонные участки (ЭУ) акваторий. Для съемочной аппаратуры ЭУ будут служить средством калибровки, а для обрабатывающей – объектами, позволяющими по сличению аттестованных и измеряемых значений устанавливать точность и достоверность извлечения информации из материалов фотографической, сканерной или радиолокационной съемки, лазерного зондирования акваторий.

ЭУ должны иметь глубины в диапазоне, определяемом по фото-, сканерному или радиолокационному снимку. Эталонный участок должен быть расположен в прибрежной зоне акватории с максимальной прозрачностью воды и с высокими отражательными характеристиками грунта дна. На эталонном участке должна быть развернута сеть уровенных постов и проведены измерения скорости течения.

Сроки проведения батиметрической съемки ЭУ должны быть близки к срокам космической съемки, чтобы исключить погрешности за счет перестройки рельефа дна под влиянием процессов переноса осадочных пород приливными течениями, а также вследствие штормов, оползней, катастрофических волн (цунами) и т.п.

Для аттестации и проверки методик координатной привязки точек изображений акватории в пределах береговой (островной) части ММГП с помощью космических и инерциальных навигационных систем создаются опорные пункты, сличение координат которых позволит оценить достоверность используемых технологических процессов.

Определение координат опорных пунктов должно осуществляться с помощью традиционных геодезических методов и средств или с применением геодезической

аппаратуры космических навигационных систем. При выборе мест геодезических опорных пунктов следует учитывать, что площадь, захватываемая одним кадром при космической съемке, для современных фотокамер составляет порядка  $6 \times 104 \text{ км}^2$ . Целесообразно, чтобы на одном снимке фиксировалось не менее двух геодезических пунктов. При расположении ММГП в густонаселенных районах побережья в качестве таких ОГП возможно использование отдельных строений, имеющих привязку к Государственной геодезической сети.

Для съемки эталонного батиметрического поля может быть предложен новый метод исключения или уменьшения погрешностей измерения глубин, основанный на использовании опорных глубин и вычислении приращений к опорным глубинам как разности между двумя последовательными измерениями глубин. Таким образом, каждая глубина вычисляется как сумма предыдущей глубины и вычисленного таким путем приращения.

Идея метода хорошо известна в геодезии и используется при геометрическом нивелировании; при определении широты по измеренной малой разности зенитных расстояний Горребу-Талькотта и др. Применительно к батиметрической съемке суммирование приращений глубин, измеренных через малый промежуток времени, в пределах которого гидрологические условия можно принять неизменными,

позволяет исключить влияние погрешностей, носящих систематический характер. Например, погрешности, вызванные изменчивостью поля скорости звука, отклонением мгновенного уровня от наблюдаемого на уровенном посту, изменением ориентации приборной системы координат и т.п. Использование опорных глубин позволяет также смягчить требования по использованию морских уровенных постов.

Для обеспечения современных требований к изучению ГПЗ в Арктическом бассейне, включая как поверку морских гравиметров, так и приведение данных разновременных съемок к единому уровню, необходима специализированная система метрологического обеспечения.

Морской метрологический гравиметрический полигон предназначается для определения погрешностей измерения ускорения свободного падения судовыми и донными гравиметрами и может представлять собой профиль протяженностью порядка 50 км с морскими гравиметрическими пунктами с диапазоном изменения значения ускорения силы тяжести (УСТ) до 1500 мГал. Для эталонирования ММГП должен включать одну-две калибровочные линии, расположенные в районе с аномальным характером ГПЗ. Точность съемки эталонных полей должна в 2–3 раза превышать точность съемки, проводимой аттестуемыми средствами и технологией съемки, то есть не выходит за пределы 0,3–0,5 мГал.

Известные способы измерения УСТ на движущемся объекте в море не обеспечивают требуемую точность эталонной съемки. Один из путей повышения точности съемки УСТ заключается в учете связи аномалий ГПЗ с глубиной границы раздела слоя воды и земной коры (дна моря). Оценим возможности данного подхода.

Для достижения требуемой точности эталонной съемки полигона за счет существенного уменьшения систематических погрешностей можно рекомендовать способ съемки с замыканием галса на морской опорный геофизический пункт (ОГП), в котором измерения УСТ выполнены баллистическими гравиметрами.

Для аттестации морского магнитометрического полигона как метрологического необходимо выполнить его съемку с точностью не хуже 0,5 нТл, которую может обеспечить градиентометрический способ с использованием МВС на опорный геофизический пункт (ОГП).

Таким образом, предлагаемые технологии высокоточных батиметрических и геофизических съемок могут быть положены в основу при создании ММГП. Представляется целесообразным провести апробацию этой технологии на соответствующем комплексе в Арктическом регионе на базе морских и геолого-геофизических полигонов. Положительные результаты такой апробации позволят создать на базе этого комплекса образцовый морской метрологический гидрографический и геофизический полигон, который в дальнейшем можно будет использовать для межведомственных метрологических испытаний и поверок в Арктическом бассейне. ●

KEYWORDS: shelf development, metrological support, arctic region, navigation and hydrographic studies, measuring instruments.



# НАДЕЖНОСТЬ И РИСКИ ПОДВОДНОГО МНОГОФАЗНОГО ТРУБОПРОВОДА

В СТАТЬЕ РАССМОТРЕН АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО МНОГОФАЗНОГО ТРУБОПРОВОДА, ОПРЕДЕЛЕННЫ ОСНОВНЫЕ РИСКИ, С КОТОРЫМИ ВОЗМОЖНО СТОЛКНУТЬСЯ В ТЕЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА. ДЛЯ КАЖДОГО РИСКА ПРИВЕДЕНЫ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ МЕРЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ, ВЫЯВЛЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «ГАЛСТУК-БАБОЧКА». В РЕЗУЛЬТАТЕ АНАЛИЗА ОПРЕДЕЛЕННЫ ОСНОВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОТ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДА

THE ARTICLE DISCUSSES THE ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF THE MULTIPHASE SUBSEA PIPELINE SYSTEM; THE MAIN RISKS THAT MAY BE ENCOUNTERED DURING THE OPERATION OF THE FACILITY WERE IDENTIFIED BY THE AUTHORS. FOR EACH RISK, THE APPROPRIATE MITIGATION MEASURES IDENTIFIED USING THE BOWTIE METHOD ARE GIVEN. AS A RESULT OF THE ANALYSIS, THE MAIN CONSEQUENCES OF THE DEPRESSURIZATION OF THE PIPELINE WERE DETERMINED

Ключевые слова: газ, шельф, подводный трубопровод, целостность трубопровода, надежность, анализ рисков, метод «галстук-бабочка».

Разработка и освоение морских месторождений непосредственно связаны с развитием морских трубопроводных систем. Магистральные морские трубопроводы используются непрерывно в течение длительного периода эксплуатации, и выход из строя их линейной части может быть связан с большими экономическими потерями, серьезными технологическими и экологическими последствиями. Поэтому повышение надежности подводных трубопроводов становится актуальной проблемой на всех этапах: проектирования, сооружения и эксплуатации трубопроводных систем.

Среднестатистическая частота аварий на морских подводных трубопроводах составляет 0,3–0,4 аварий/год на 1000 км. Основными причинами аварий (рис. 1) являются коррозия металла труб (50%), механические повреждения в результате воздействия якорей, траловых досок, вспомогательных судов и строительных барж (20%), повреждения, вызванные штормами, размывами дна (12%) [3, 5].

## ФАКТЫ

0,3-0,4

составляет средняя частота аварий в год на морских подводных трубопроводах на 1000 км

Существует множество методов анализа надежности и риска технологических систем. В таблице 1 приведены сведения об основных из них, даны их краткие характеристики согласно ГОСТ Р 51901.1-2002\* и ГОСТ Р 51901.5-2005 [1, 2].

В таблицу не включены методы, которые согласно ГОСТ Р 51901.5-2005 не являются самостоятельными, «...так как они являются модификацией упомянутых в таблице методов анализа надежности».

Широкое распространение в настоящее время получил метод оценки рисков «галстук-бабочка», являющийся комбинацией двух методов: анализа дерева неисправностей и анализа дерева событий. Анализ рисков методом «галстук-бабочка» – схематический способ описания и пути развития опасного события от причин до последствий. Диаграмма «галстук-бабочка» (рис. 2) представляет собой визуальное отображение рисков, с которыми возможно столкнуться в течение времени эксплуатации объекта, и последствий, в случае если мы допустим то или иное неблагоприятное событие. Также диаграмма определяет необходимые барьеры, предотвращающие или ограничивающие последствия крупной аварии [7].

Проведем анализ рисков многофазного подводного трубопровода, расположенного в акватории Охотского моря и построенного в рамках проекта Сахалин-2, методом «галстук-бабочка».

### Сторожева Анна Евгеньевна

ведущий инженер кафедры освоения морских нефтегазовых месторождений, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, к.т.н.

### Сторожева Мария Евгеньевна

старший преподаватель кафедры геологии и нефтегазового дела, Сахалинский государственный университет

РИС. 1. Распределение общего числа разрушений подводных трубопроводов в зависимости от вызывающих их причин



ТАБЛИЦА 1. Перечень наиболее распространенных методов, используемых при анализе надежности и риска

Наименование метода	Применение (ГОСТ Р 51901.1*)	Использование (ГОСТ Р 51901.5)		Примечание
		Качественный анализ	Количественный анализ	
1. Анализ дерева событий (ETA)	Идентификация опасности и анализ частот	Анализ последовательности отказов	Вычисление интенсивностей отказов	
2. Анализ видов и последствий отказов (FMEA)	Идентификация главных источников и анализ частот	Анализ воздействия отказов	Вычисление интенсивностей отказов (и критичности) системы	Для систем, у которых преобладают единичные отказы
3. Анализ дерева неисправностей (FTA)	Идентификация опасности и анализ частот нежелательного события	Анализ комбинации неисправностей	Вычисление показателей безотказности работоспособности	Используется графическое изображение
4. Исследование опасности и работоспособности (HAZOP)	Идентификация фундаментальной опасности	Анализ причин и последствий отклонений	Не применим	
5. Анализ структурной схемы надежности (RBD)	Анализ частот, на основе которых создается модель системы и ее резервов	Анализ путей работоспособности	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности	Для систем, у которых можно выделить независимые блоки
6. Анализ влияния человеческого фактора (HRA)	Анализ частот в области воздействия людей	Анализ воздействия человека на работу системы	Вычисление вероятностей ошибок человека	
7. Метод Монте-Карло (Monte-Carlo)	Анализ частоты	Анализ воздействия неисправностей	Определение количественных оценок показателей безотказности с неопределенностью	
8. Марковский анализ (Markov Analysis)	—	Анализ последовательности отказов	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	

РИС. 2. Общий вид диаграммы «галстук-бабочка»

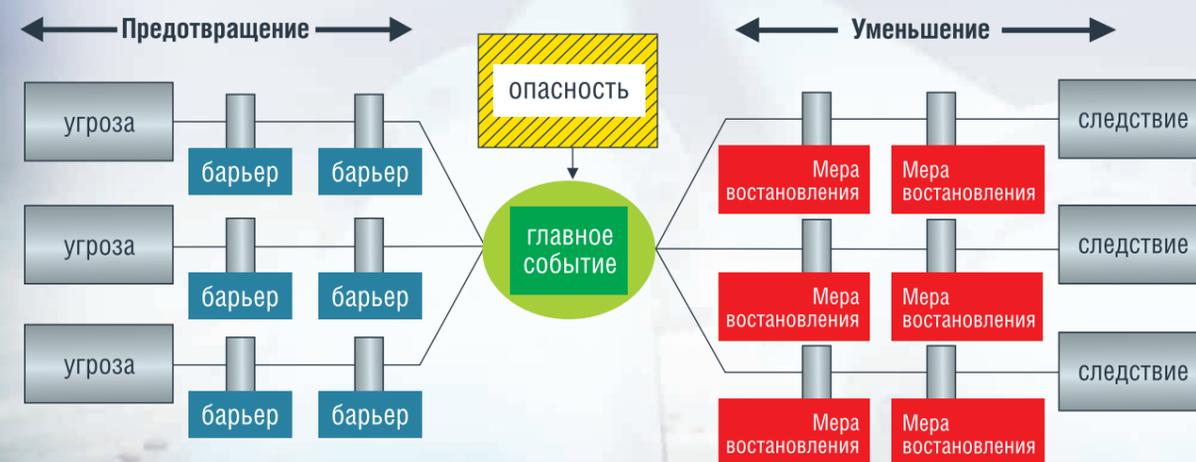
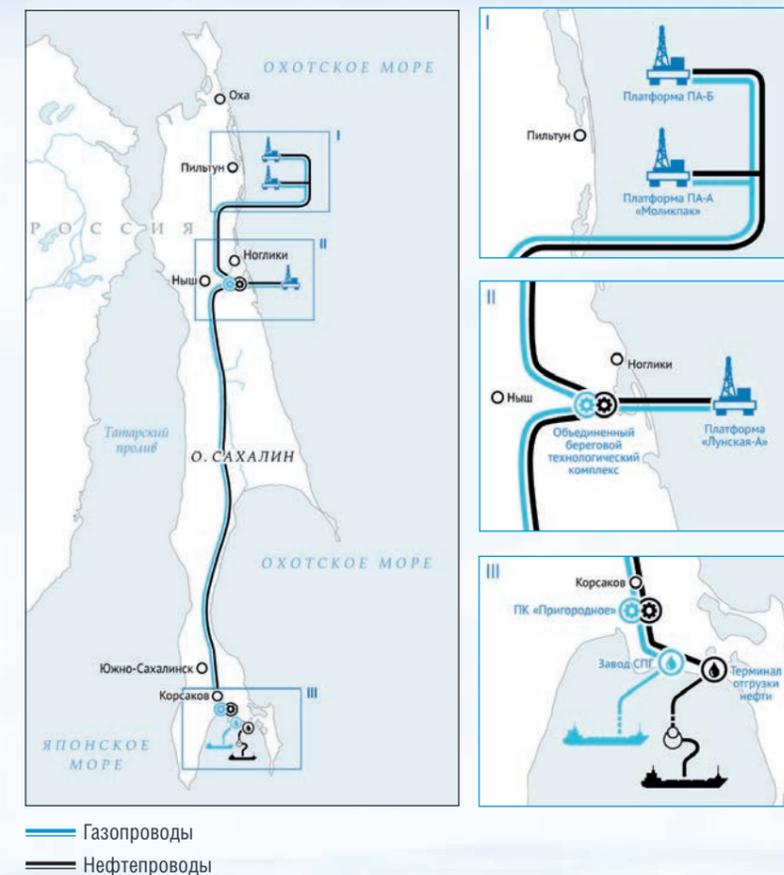


РИС. 3. Схема инфраструктуры проекта Сахалин-2



Функцией системы многофазного трубопровода является транспортировка природного газа и конденсата с платформы Лунская-А (ЛУН-А) на объединенный береговой технологический комплекс (ОБТК) (рис. 3).

Многофазный продукт, поставляемый с платформы ЛУН-А, поступает на берег через полосу отвода берегового примыкания ОБТК. Два 762-мм морских многофазных трубопровода, идущих с платформы ЛУН-А, имеют длину 13,5 км до места входа на берег и 7,5 км от берега до камер приема/пуска скребков на ОБТК.

**ФАКТЫ**  
**Газ и конденсат,**  
находящиеся в трубопроводе под давлением, представляют главную опасность для разгерметизации

Система многофазных трубопроводов подразделяется на следующие секции:

- два 762-мм (30") морских многофазных магистральных трубопровода, идущих с платформы ЛУН-А на береговое примыкание;
- два 762-мм (30") береговых многофазных магистральных трубопровода, идущих с берегового примыкания на ОБТК;
- один 114-мм (4,5") береговой/морской магистральный трубопровод для моноэтиленгликоля (МЭГ), идущий с ОБТК на платформу ЛУН-А [6].

Примером неблагоприятного события для исследуемого подводного трубопровода может стать его разгерметизация. Главную опасность представляют газ и конденсат, находящиеся в трубопроводе под давлением.

В результате анализа определены следующие угрозы, которые могут привести к разгерметизации трубопровода (рис. 4):

1. *Внешняя коррозия;*
2. *Внутренняя коррозия.* Содержание в транспортируемой продукции диоксида углерода и воды говорит о том, что данный трубопровод подвержен внутренней коррозии;
3. *Механические повреждения.* Сброс судовых якорей в зоне прохождения подводного трубопровода может привести к внешнему повреждению трубопровода и, как следствие, к его разрушению;

РИС. 4. Диаграмма «галстук-бабочка» для подводного многофазного трубопровода

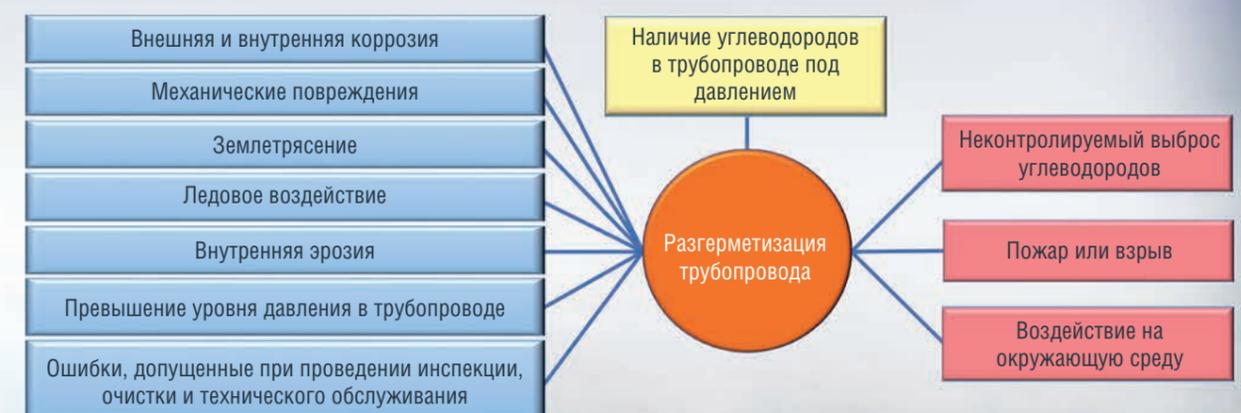


ТАБЛИЦА 2. Барьеры, предназначенные для снижения вероятности реализации рисков и тяжести их последствий

Угроза	Барьеры
Внешняя коррозия	а) Припуск на коррозию, рассчитанный на период 30-летней эксплуатации трубопровода; б) Внешнее антикоррозионное покрытие трубопровода; в) Катодная защита, рассчитанная на период 30-летней эксплуатации трубопровода; г) Проведение инспекции по определению толщины трубопровода и наличия дефектов, вызванных коррозией.
Внутренняя коррозия	а) Припуск на коррозию, рассчитанный на период 30-летней эксплуатации трубопровода; б) Внутреннее защитное покрытие трубопровода; в) Проведение инспекции по определению толщины трубопровода и наличия дефектов, вызванных коррозией.
Механические повреждения	а) Защита трубопровода защитным кожухом; б) Мониторинг судов, проходящих зону проложенного трубопровода, а также отметка в навигационной карте места расположения подводного трубопровода; в) Разрешение на проведение любых операций вблизи трубопровода.
Землетрясение	а) Конструкция трубопровода, способная выдерживать максимальную сейсмическую активность, зафиксированную в этой зоне в течение 2000 лет; б) Мониторинг сейсмической активности в зоне возможной досягаемости трубопровода.
Ледовое воздействие	а) Конструкция трубопровода, способная выдерживать ледовые воздействия в течение всего периода эксплуатации; б) Ежегодный осмотр трубопровода с целью определения воздействия со стороны ледовых образований.
Внутренняя эрозия	а) Антифрикционное покрытие, обеспечивающее защиту внутренней стальной поверхности трубопровода; б) Фильтрация транспортируемого продукта на морской платформе с целью максимального удаления песка из состава.
Превышение уровня давления	а) Конструкция трубопровода, способная выдерживать повышение давления; б) Контроль параметров транспортируемого продукта; в) Тренинги для операторов, обслуживающих трубопровод; г) Строгий контроль всех операций, проводимых с трубопроводом; д) Оснащение трубопровода системой предохранительных клапанов.
Ошибки, допущенные при проведении инспекции и очистки с помощью снаряда	а) Конструкция трубопровода, обеспечивающая беспрепятственное прохождение снаряда; б) Разрешение (наряд-допуск) на проведение операции с использованием снаряда; в) Проведение операций обученным персоналом.
Ошибки, допущенные при проведении технического обслуживания	а) Проведение технического обслуживания строго по существующей программе технического обслуживания; б) Разрешение (наряд-допуск) на проведение соответствующих работ любого технического обслуживания; в) Проведение технического обслуживания специально обученным персоналом.
Скрытые дефекты материала и/или сварных швов	а) Оценка качества и контроль качества в процессе строительства подводного трубопровода; б) Опрессовка трубопровода перед вводом его в эксплуатацию; в) Проверка трубопровода с помощью снарядов-дефектоскопов.

4. **Землетрясение.** По сейсмическому районированию территории России шельф Сахалина классифицируется как сейсмоопасная зона. Район прохождения трассы трубопроводов относится к 9-балльной зоне интенсивности сейсмических воздействий [4];
5. **Ледовое воздействие.** Наличие таких ледовых образований, как стамухи, торосы, в зоне расположения трубопровода может привести к повреждению трубопровода;

**ФАКТЫ**

**100%** нулю

защиту трубопровода от существующих угроз не способен обеспечить ни один из барьеров

6. **Внутренняя эрозия.** Наличие в составе транспортируемого продукта песка может привести к разрушению внутренних стенок трубопровода;
7. **Превышение уровня давления.** Незапланированное повышение внутреннего давления может привести к разрыву стенки трубопровода;



8. **Ошибки, допущенные при проведении инспекции и очистки с помощью снаряда.** Данные ошибки могут привести к повреждению внутренней поверхности трубопровода, а также к застреванию снаряда внутри трубы;
9. **Ошибки, допущенные при проведении технического обслуживания;**
10. **Скрытые дефекты материала / сварных швов.**

Для каждой из угроз определим соответствующие барьеры, которые могли бы предотвратить происхождение главного неблагоприятного события (табл. 2).

При наличии всех барьеров подводный трубопровод не застрахован от главного неблагоприятного события, так как ни один из этих барьеров не способен обеспечить 100%-ную защиту трубопровода от существующих угроз. Поэтому встает вопрос о необходимости наличия мер по снижению последствий в случае главного события, т. е. разгерметизации подводного трубопровода.

Выброс из трубопровода может привести к образованию облака топливовоздушной смеси и последующему замедленному воспламенению, вспышке облака топливовоздушной смеси с образованием горящего факела или пожару на поверхности моря. В случае выбросов из подводного трубопровода рядом с платформой возникает риск воспламенения, которое перерастает в быстро распространяющийся пожар пролива (по типу горящего факела). Установлено, что пожары среднего и крупного масштаба могут повредить одну или несколько опор основания платформы. Выброс многофазной углеводородной среды может нанести серьезный ущерб окружающей среде и привести к потере продукции вследствие блокировки канала экспорта в период устранения последствий.

Правая сторона диаграммы «галстук-бабочка» предусматривает барьеры, которые могут быть названы как меры восстановления. Определены следующие возможные барьеры для предотвращения неконтролируемого

**ФАКТЫ**

**Выброс**

из подводного трубопровода рядом с платформой создает риск воспламенения, которое перерастает в быстро распространяющийся пожар

выброса углеводородов, пожара или взрыва, воздействия на окружающую среду:

- во-первых, применение системы обнаружения утечек, которая может определить утечку в размере 2% от общего расхода углеводорода в трубопроводе;
- во-вторых, аварийная остановка: сброс давления через факельную систему морской добывающей платформы, ОБТК;
- в-третьих, размещение и применение эффективных систем (установок, средств) предупреждения и тушения пожаров;
- в-четвертых, разработка плана ликвидации утечки;
- в-пятых, разработка плана ликвидации аварии.

Процедуры анализа риска, осуществляемые на этапе проектирования, дают возможность оценить уровень безопасности объектов нефтегазовых месторождений. Результаты анализа риска позволяют планировать и осуществлять организационные и технические меры обеспечения безопасности и снижения возможности возникновения аварийных ситуаций и ущерба от них. ●

**Литература**

1. ГОСТ Р 51901.1-2002\*. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
2. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности». – М.: Стандартинформ, 2005.
3. НД 2-090601-007. Рекомендации по проектированию, постройке и эксплуатации морских подводных трубопроводов (2020) – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2020. – 99 с.
4. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* (с изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2018.
5. Самусева Е.А. Анализ опасности морских трубопроводов для количественной оценки риска аварий. – М.: ЗАО «НТЦ Исследований промышленной безопасности», 2011.
6. Транссахалинская трубопроводная система. Сахалин Энерджи Инвестмент Компани ЛТД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sakhalinenergy.ru/ru/company/assets/pipelines/>. – Дата обращения: 31.10.2021.
7. A. de Ruijter, F. Guldenmund. The bowtie method: A review // Safety Science. – 2016. – Vol. 88, pp. 211–218.

**KEYWORDS:** oil and gas field development, shelf, subsea production system, reservoir pressure maintenance, water treatment.

# РЫВОК В РАЗВИТИИ РОССИЙСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

## Шамрай Феликс Анатольевич

директор центра инновационных  
арктических технологий,  
Санкт-Петербургский государственный  
морской технический университет

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ РОССИЯ ЭКСПОРТИРУЕТ СПГ ПО МОРЮ ИНОСТРАННЫМИ ПЕРЕВОЗЧИКАМИ, СУДАМИ, ПОСТРОЕННЫМИ В ЮЖНОЙ КОРЕЕ ПО ФИНСКОМУ ПРОЕКТУ И ПО ФРАНЦУЗСКОЙ ЛИЦЕНЗИИ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, С ГЕОПОЛИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКСПОРТ РОССИЙСКОГО СПГ ОЧЕНЬ УЯЗВИМ. ДО 2035 Г. ФЛОТУ ГАЗОВОЗОВ РФ ПОТРЕБУЕТСЯ ПОРЯДКА СТО СУДОВ, ЕЩЕ СТОЛЬКО ЖЕ – МИРОВОМУ РЫНКУ. ПЕРЕД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИЕЙ СТОИТ АЛЬТЕРНАТИВА: КУПИТЬ 100 ГАЗОВОЗОВ ПО 330 МЛН ДОЛЛ. США КАЖДЫЙ В КОРЕЕ, А ЭТО ЧИСТАЯ ПОТЕРЯ ВВП НА 33 МЛРД ДОЛЛ. США, ЛИБО ПОСТРОИТЬ ЭТИ СУДА В РОССИИ, ПО РОССИЙСКОМУ ПРОЕКТУ, С РОССИЙСКОЙ КОМПЛЕКТАЦИЕЙ, ЧТО ПРИВЕДЕТ К ПРИРОСТУ ВВП НА 198 МЛРД ДОЛЛ. США. КАКОЙ ПУТЬ ВЫБЕРЕТ РОССИЯ И ЧТО ПРЕДЛАГАЮТ РОССИЙСКИЕ ПРОЕКТИРОВЩИКИ?

*CURRENTLY, RUSSIA EXPORTS LNG BY SEA BY FOREIGN CARRIERS, SHIPS BUILT IN SOUTH KOREA UNDER A FINNISH PROJECT AND UNDER A FRENCH LICENSE. THUS, FROM A GEOPOLITICAL POINT OF VIEW, THE EXPORT OF RUSSIAN LNG IS VERY VULNERABLE. UNTIL 2035, THE RUSSIAN GAS CARRIER FLEET WILL NEED ABOUT A HUNDRED VESSELS, AND THE WORLD MARKET WILL NEED THE SAME NUMBER. THE RUSSIAN FEDERATION FACES AN ALTERNATIVE: EITHER BUY 100 GAS CARRIERS AT \$330 MILLION EACH IN KOREA, WHICH IS A NET LOSS OF GDP OF \$33 BILLION, OR BUILD THESE VESSELS IN RUSSIA, ACCORDING TO A RUSSIAN PROJECT, WITH RUSSIAN EQUIPMENT, WHICH WILL LEAD TO AN INCREASE \$198 BILLION GDP. WHICH PATH WILL RUSSIA CHOOSE AND WHAT DO RUSSIAN DESIGNERS PROPOSE?*

Ключевые слова: судостроение, импортозамещение, газозовы, экспорт СПГ, серийное производство судов.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет ведет проектирование СПГ-газовоза. На судне будут установлены четыре емкости для транспортировки 176 тыс. м<sup>3</sup> СПГ при температуре -165 °С. Объем каждой емкости – 44 тыс. м<sup>3</sup>.

Распоряжение Правительства РФ от 16 марта 2021 г. № 640-р «Об утверждении долгосрочной программы развития производства сжиженного природного газа в РФ» задает уровень экспорта СПГ в 122,6 млн т/год к 2035 г.

Силовой конструктив емкости может быть стальным, алюминиевым или композитным. В проекте применяют тот материал, который покажет экономически наилучший результат.

Стоимость газозова, построенного по зарубежному проекту на зарубежных верфях, составляет более 300 млн долл. США. Стоимость российского газозова планируется снизить за счет оригинальных инженерных решений ГСС, высокого уровня импортозамещения криогенного оборудования,

## ФАКТЫ

**85000** т

составляет дедейт газозова типа Ямалмакс

**2008** г.

производительность труда в мировом судостроении составляла порядка 20 человеко-часов на тонну переработки металла

а также отсутствия лицензионных платежей. Кроме того, каждый месяц строительства судна увеличивает его строительную стоимость примерно на 1%. Предлагаемая технология позволит ССК «Звезда» строить газозовы не за полтора года, как в Корее, а за девять месяцев. Это снизит строительную стоимость каждого судна примерно на 30 млн долларов.

Проект предусматривает:

- Полное импортозамещение;
- Строительство газозова не за 2,5 года, а за 1 год;
- Производительность труда 10 человеко-часов на тонну металлопереработки;
- Стоимость не дороже 330 млн долл. США (как в Южной Корее);
- Ремонтопригодность не 1 год, как у GTT, а 1 месяц.

Конструкция проектируемого судна также является базисом для любых танкеров жидких грузов и сжиженных газов, для других типов арктических судов;

Проект «Российский газозов» соответствует целям и задачам, обозначенным в государственных документах:

- Указ Президента № 204 от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024» в части развития цифровой экономики, комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры;

РИС. 1. «Корабелка» проектирует российский газозов с вкладными танками Тип В



- Указ Президента № 164 от 05.03.2020 г. «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период 2035» в части основных национальных интересов России в Арктике в направлении развития Северного морского пути в качестве конкурентоспособной на мировом рынке национальной транспортной коммуникации РФ;
- Постановление Правительства Российской Федерации № 404 от 18 марта 2021 г. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений».

В 2008 г. (по данным немецкой компании IMG GmbH) производительность труда в мировом судостроении варьировала около значения 20 человеко-часов на тонну переработки металла (см. рисунок 2).

Российские судостроители существенно отстают (см. рисунок 3). На нем показаны, в том числе, технологические тренды мирового судостроения. Желтым цветом на рисунке отмечена область производительности труда действующих российских верфей. Наше судостроение задержалось в середине прошлого века. И даже строящиеся верфи в своих проектных показателях более чем в два раза уступают по производительности среднемировому уровню 10-летней давности.

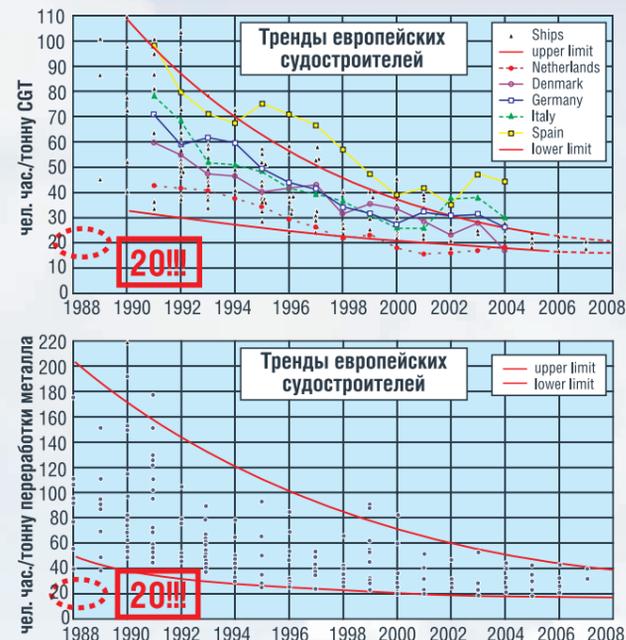
Поэтому наш университет проектирует не только российский газовоз, но и в инициативном порядке проектирует технологическое решение для верфи на пятьсот т. тонн металлопереработки, которое обеспечит строительство ста газовозов до 2035 г. и других судов. Нами выявлены основные проблемы, присущие российским судостроительным корпорациям и верфям (см. рисунок 4). Все они взаимосвязаны. Как видите, они не зависят от отсутствия или недостаточности государственных льгот и преференций, все они имеют прежде всего корпоративные корни.

Анализ, проведенный нами, позволил обосновать ключевые программы, комплексное применение которых гарантирует успех верфи:

РИС. 3. Производительность труда в российском судостроении (по данным автора)



РИС. 2. Производительность труда в мировом судостроении по данным IMG GmbH



**ФАКТЫ**

На **40%**

увеличивается рост производительности труда верфи за счет унификации конструкций судна

- Проектирование судна по правилам системного инжиниринга;
- Принципиальное технологическое решение верфи;
- Программа «10 ч.час/т»;
- Программа «Точность 2 мм».

Их разрозненное и частичное применение не даст результата. Достижение требуемой производительности (десять человеко-часов на тонну переработки металла), которая обеспечит конкурентоспособность российских верфей по срокам строительства судов и их строительной стоимости, возможно только и исключительно при полной и комплексной реализации, обозначенных нами программ.

Унификация конструкций судна повышает серийность отдельных элементов. Это обеспечивает рост производительности труда верфи примерно на 40% (см. рисунок 5).

Необходимо напомнить, что серийность проектируемого нами газовоза определена государственными планами и составляет сто единиц до 2035 г. Все суда определенной нами продуктовой линейки имеют схожие ледовый класс, мореходность, районы плавания, размерения, конструктив корпуса, носовые и кормовые оконечности, пропульсивные

РИС. 4. Проблемы российского судостроения



системы. Что обеспечивает верфь заказами во всей перспективе. Ниже дана оценка вклада различных решений в общую производительность труда на верфи.

Реализация Программы «Точность 2 мм» убирает с верфи огромный объем переделок и исправлений, труда, не создающего стоимость (MUDA). Тем самым производительность труда верфи повышается примерно на 25%.

То, что делается в цехе на уровне пола, занимает условную единицу трудоемкости. Та же самая работа, но на высоте и/или на улице, на стапеле, в доке потребует в три раза большей трудоемкости. Выполнение этой работы на воде (у достроечной стенки) потребует в девять раз больше труда. Вопрос не в том, чтобы сварить большую «железку». Вопрос в том, чтобы она была насыщена на 100%. Максимум работы надо делать в цехе на уровне пола.

Комплексная реализация предлагаемых нами программ позволяет перейти к строительству судов интегрированными мегаблоками. Это снижает CAPEX верфи (сухой док не нужен). Это повышает производительность труда верфи примерно на 10%.

Роботизация в заготовительном, корпусном, трубном, отделочном производствах повысит производительность верфи примерно на 8%.

Широкое применение гибридной лазерно-дуговой сварки позволяет изготавливать сварные конструкции

**ФАКТЫ**

На **25%**

повышается производительность труда верфи благодаря реализации Программы «Точность 2 мм»

На **7%**

обеспечивается рост производительности верфи за счет применения гибридной лазерно-дуговой сварки

в десять раз быстрее и без остаточных напряжений, как следствие, без их деформаций. Это обеспечивает рост производительности верфи примерно на 7%.

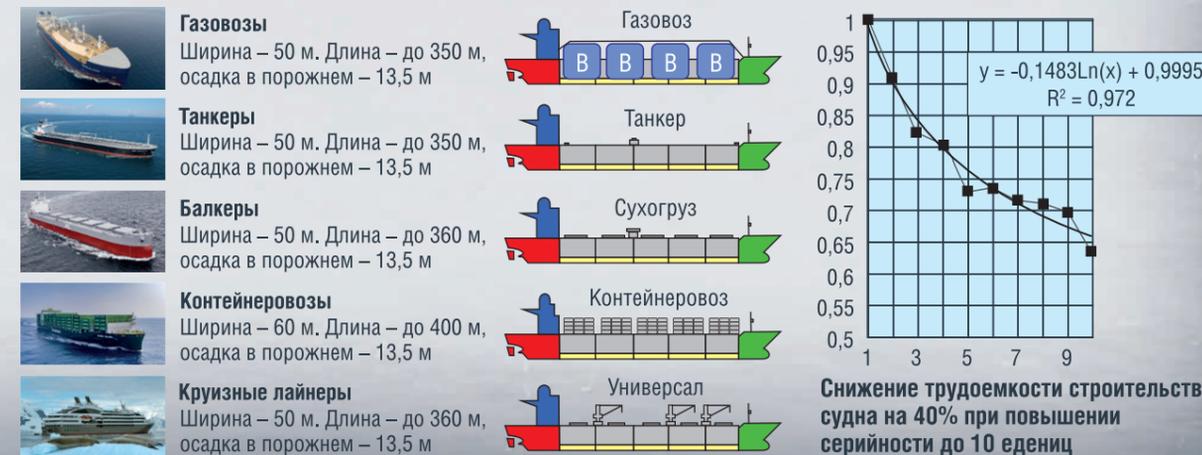
Криволинейные детали корпуса занимают 15% его веса и гораздо большую трудоемкость в корпусных работах. Создание и применение фасеточной гибки крупноформатного листа убирает проблему дефицита гибщиков и повышает производительность труда верфи примерно на 5%.

Таким образом, в случае полной и комплексной реализации обозначенных программ, мы гарантируем производительность труда десяти человеко-часов на тонну переработки металла. Это обеспечит верфи по строительству газовозов и судов сопоставимых размеров и классов конкурентоспособность в долгосрочной перспективе.

По нашим расчетам, инвестиции в проектирование и сертификацию российского газовоза, в строительство верфи для него составят порядка 1,5 млрд долл. США при окупаемости вложений менее чем за пять лет. Верфь будет работать с прибылью не менее пятьсот млн долл. США в год. Российский судовладелец флота на сто газовозов будет иметь оборот более 3 млрд долл. США в год. Российский ВВП получит прибавку более 1,5 трлн руб. в год.

KEYWORDS: natural gas, cryogenic and gas fittings, gas turbine locomotive, gas engine locomotive, gas piston diesel locomotives, gas diesel cycle, CNG, LNG.

РИС. 5. Зависимость производительности верфи от серийности судов



Снижение трудоемкости строительства судна на 40% при повышении серийности до 10 единиц

# МЕЖДУНАРОДНАЯ ТОРГОВЛЯ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

ГЛОБАЛЬНЫЙ КРИЗИС, СВЯЗАННЫЙ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ COVID-19, ПРИВНЕС ДОЛЮ НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТИ В ДАЛЬНЕЙШУЮ ТРАЕКТОРИЮ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА, ЗНАЧИТЕЛЬНО ИЗМЕНИВ СТРУКТУРУ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯМИ. В СТАТЬЕ ВЫЯВЛЕНЫ ОСНОВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВЛИЯНИЯ МИРОВОЙ ПАНДЕМИИ НА МЕЖДУНАРОДНУЮ ТОРГОВЛЮ НЕФТЕГАЗОВЫМИ РЕСУРСАМИ, КОТОРЫЕ ПОТРЕБЛЯЮТСЯ ВО МНОГИХ ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ, ВКЛЮЧАЯ ХИМИЧЕСКУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, А ТАКЖЕ ОБОЗНАЧЕНЫ ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*THE GLOBAL CRISIS ASSOCIATED WITH THE SPREAD OF THE CORONAVIRUS INFECTION COVID-19 HAS CONTRIBUTED TO UNPREDICTABILITY OF THE FURTHER DEVELOPMENT TRAJECTORY OF THE ENERGY MARKET BY CHANGING SIGNIFICANTLY INTERNATIONAL ENERGY TRADE. THE ARTICLE IDENTIFIES THE MAIN CONSEQUENCES OF THE IMPACT OF THE GLOBAL PANDEMIC ON INTERNATIONAL TRADE IN THE OIL AND GAS SECTOR, AS WELL AS OUTLINES THE PROSPECTS FOR THE PETROCHEMICAL INDUSTRY IN THE CONTEXT OF THE GLOBAL ENERGY TRANSITION TO LOW-CARBON ENERGY*

Ключевые слова: международная торговля энергоресурсами, глобальный энергетический переход, нефтегазовый сектор, нефтехимия.

**Захаров Александр Николаевич**  
профессор, доктор экономических наук, профессор кафедры мировой и национальной экономики, ВАВТ Минэкономразвития России

**Грицан Екатерина Дмитриевна**  
аспирантка кафедры мировой и национальной экономики, ВАВТ Минэкономразвития России

Мировой рынок подвергся резкому и масштабному шоку в 2020 г., когда коронавирусная инфекция COVID-19 начала распространяться из Китая на другие страны мирового сообщества и повлекла за собой крупнейшую рецессию за последние десятилетия – перебои в поставках товаров и услуг, разрывы в глобальных цепочках создания стоимости, кардинальное снижение спроса и производства, ценовые шоки, увеличение нестабильности курсов валют. В таблице 1 показаны темпы роста ВВП стран мира в 2020 г.,

а также прогнозные данные МВФ относительно восстановления экономик в 2021–2022 гг. Наиболее значительно в 2020 г. упал ВВП европейских стран, в то время как в России отрицательный темп роста сопоставим со средним значением в мире. Примечательно, что Китай является единственной экономикой, которая показала положительную динамику в кризисный 2020 г.

Энергетическая отрасль, как системообразующая в мировой экономике и неразрывно связанная с любой экономической деятельностью, была также в значительной степени затронута последствиями кризиса.

УДК 330.3

ТАБЛИЦА 1. Динамика реального ВВП по странам мира, 2020–2022 гг., %<sup>1</sup>

	2020	2021*	2022*
<b>Мир</b>	-3,1	5,9	4,9
<b>Развитые страны</b>	-4,5	5,2	4,5
США	-3,4	6,0	5,2
ЕС	-6,3	5,0	4,3
Германия	-4,6	3,1	4,6
Франция	-8,0	6,3	3,9
Италия	-8,9	5,8	4,2
Испания	-10,8	5,7	6,4
Япония	-4,6	2,4	3,2
Великобритания	-9,8	6,8	5,0
Канада	-5,3	5,7	4,9
<b>Страны с формирующимся рынком и развивающиеся страны</b>	-2,1	6,4	5,1
Китай	2,3	8,0	5,6
Индия	-7,3	9,5	8,5
Россия	-3,0	4,7	2,9
Бразилия	-4,1	5,2	1,5
Мексика	-8,3	6,2	4,0
Саудовская Аравия	-4,1	2,8	4,8

\* прогнозные данные

## Влияние пандемии на основные экономические показатели в энергетике

Примечательно, что разные сегменты энергетической отрасли в разной степени подверглись влиянию пандемии. По оценкам, в 2020 г. мировой спрос на энергию упал на 4,5 %, что является сильнейшим сокращением со времен Второй мировой войны. При этом на долю нефти пришлось практически три четверти снижения энергопотребления в указанном периоде – около 9,1 млн баррелей в сутки, или 9,3 %, т.е. до самого низкого уровня с 2011 г. В мировом масштабе половина объема спроса на нефть приходится на транспортный сектор. Если государственная политика и продвигающийся технический прогресс ускорят электрификацию транспорта, нефть станет менее значимой, особенно для сегмента легковых автомобилей. Однако значительный спрос на нефть, вероятно, сохранится в обозримом будущем из-за ее сравнительных

преимуществ для тяжелых и дальних перевозок, а также в нефтехимическом секторе<sup>2</sup>.

Цена на нефть (Brent) в 2020 г. составляла в среднем 41,84 долл. за баррель – самая низкая цена с 2004 г. Спрос на нефть больше всего упал в США (-2,3 млн баррелей в сутки), ЕС (-1,5 млн баррелей в сутки) и Индии (-480 000 баррелей в сутки). Китай был практически единственной страной, где потребление увеличилось (220 000 баррелей в сутки). Мировая добыча нефти сократилась на 6,6 млн баррелей в день, а загрузка НПЗ упала до 74,1 %, что является самым низким уровнем с 1985 г.<sup>3</sup>

Газовая отрасль также пострадала, хотя и не в такой же степени, как нефтяная: цены на природный газ и СПГ достигли исторических минимумов, потребление снизилось на 2,3 %. Тем не менее доля газа в первичной энергии продолжала расти, достигнув рекордного уровня в 24,7 %. Лидерами снижения спроса на газ стали Россия (-33 млрд куб. м)

и США (-17 млрд куб. м), при этом наибольший прирост обеспечили Китай (22 млрд куб. м) и Иран (10 млрд куб. м). Межрегиональная торговля газом сократилась на 5,3 %, что объясняется падением трубопроводной торговли на 54 млрд куб. м (10,9 %). Предложение СПГ выросло на 4 млрд куб. м, или на 0,6 %, что значительно ниже среднего показателя за 10 лет в 6,8 % в год. Предложение СПГ в США увеличилось на 14 млрд куб. м (29 %), но это было частично компенсировано снижением в большинстве других регионов, особенно в Европе и Африке<sup>4</sup>.

Мировой экспорт нефти и нефтепродуктов в стоимостном выражении за последние 5 лет (рисунок 1) достиг своих пиковых значений в 2018 г. и составил почти 939 млрд долл. США. В 2020 г. объем мирового экспорта нефти снизился примерно на 35 % по сравнению с 2019 г. В страновом разрезе более 35 % снижения экспорта было зафиксировано в России, Ираке, Нигерии и Кувейте, в меньшей степени из основных экспортеров нефти пострадали США, ОАЭ, Норвегия, Бразилия.

Мировой импорт нефти и нефтепродуктов в стоимостном выражении (рисунок 2) в 2020 г. снизился в той же степени, что и экспорт: в 2019 г. он составил примерно 1,06 трлн долл., а в 2020 г. – 685 млрд долл. Почти среди всех стран-импортеров снижение превышало мировой показатель в 35 %, а в КНР, Таиланде и Германии снижение было меньше мирового показателя.

По товарной группе 2711 – Газы нефтяные и углеводороды газообразные прочие динамика экспорта по странам не столь

<sup>1</sup> WORLD ECONOMIC OUTLOOK 2021 / INTERNATIONAL MONETARY FUND – <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021>.

<sup>2</sup> Global Energy Outlook 2021: Pathways from Paris – [https://media.rff.org/documents/RFF\\_GEO\\_2021\\_Report\\_1.pdf](https://media.rff.org/documents/RFF_GEO_2021_Report_1.pdf)

<sup>3</sup> BP Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition – <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>

<sup>4</sup> Нефтегазохимия в России: возможности для роста / Июль 2021 / Фонд «Центр стратегических разработок» – <https://www.csr.ru/publications/neftegazokhimiya-v-rossii-vozmozhnosti-dlya-rosta/>

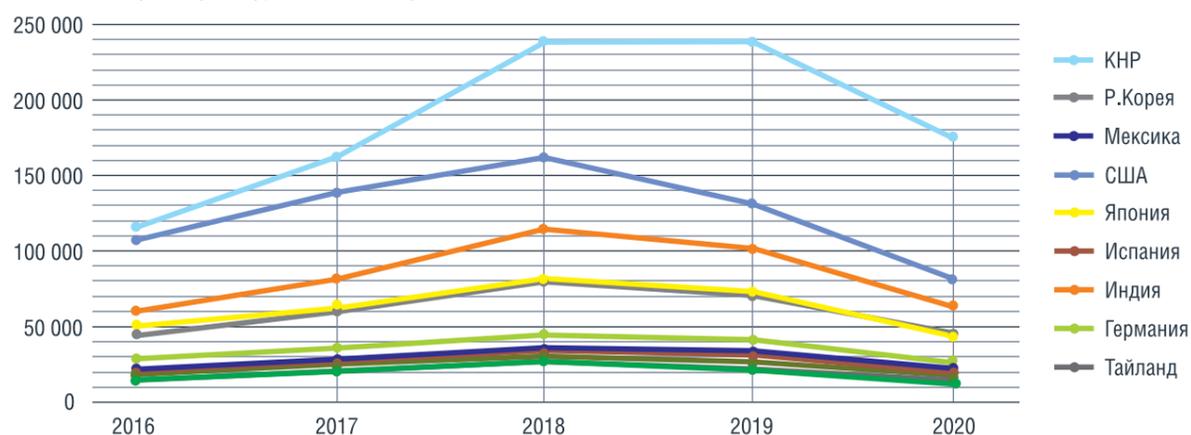


РИС. 1. Экспорт товарной группы 2709\* по странам, 2016–2020 гг., тыс. долл. США<sup>5</sup>



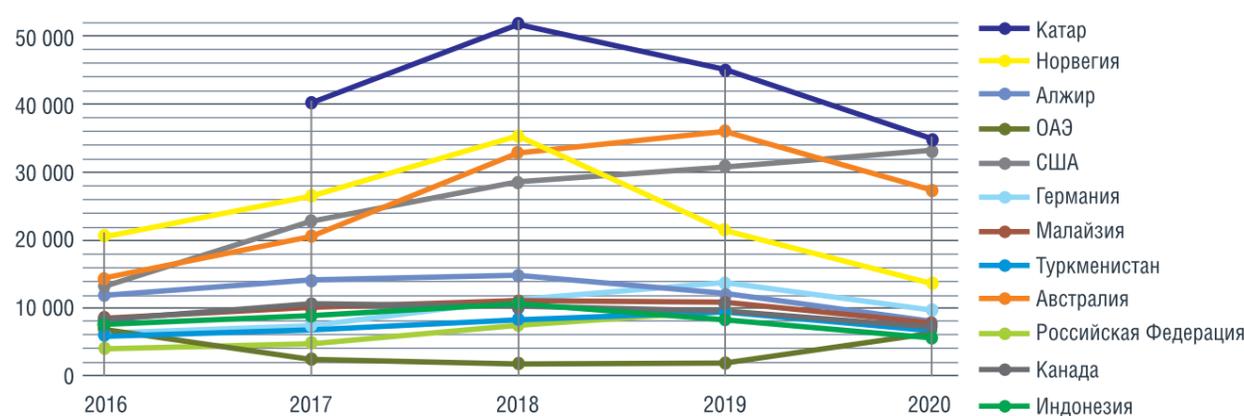
\* 2709 – Нефть сырая и нефтепродукты сырые, полученные из битуминозных пород

РИС. 2. Импорт товарной группы 2709\* по странам, 2016–2020 гг., тыс. долл. США<sup>6</sup>



\* 2709 – Нефть сырая и нефтепродукты сырые, полученные из битуминозных пород

РИС. 3. Экспорт товарной группы 2711\* по странам, 2016–2020 гг., тыс. долл. США<sup>7</sup>



\* 2711 – Газы нефтяные и углеводороды газообразные прочие

однородна, как по нефти и нефтепродуктам (рисунок 3). Мировой экспорт в 2020 г. в стоимостном выражении снизился на 22 %, при этом двум странам, США и ОАЭ, удалось нарастить объем экспорта в указанный период, несмотря на влияние кризиса.

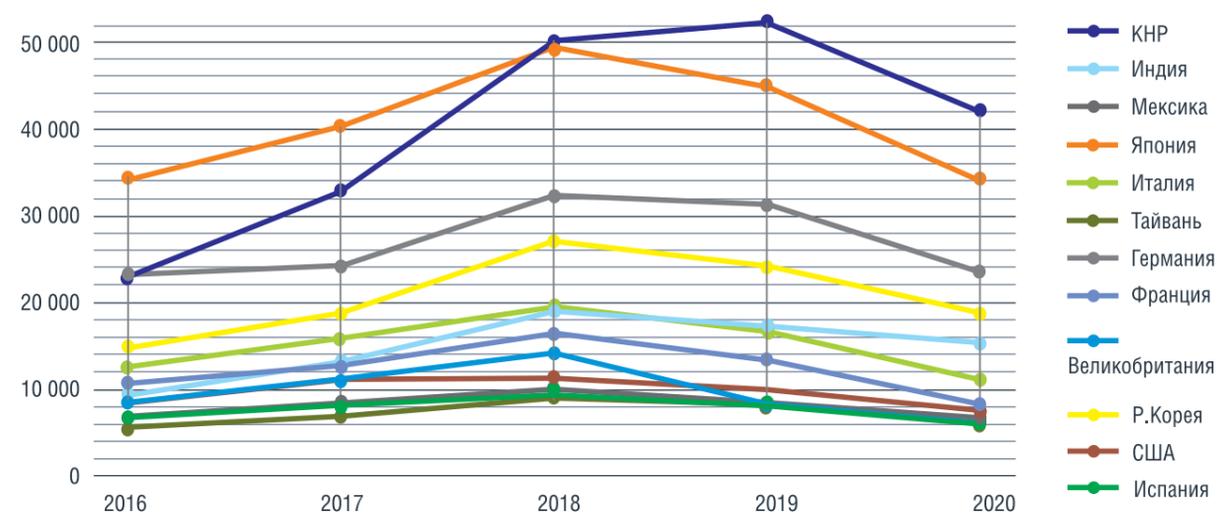
Сокращение мирового импорта газа в 2020 г. (рисунок 4) в стоимостном выражении составило 24 %, при этом наиболее сильное снижение произошло в Италии, Франции и Испании, слабее всего снижение было в Индии (11–12 %).

<sup>5</sup> ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>

<sup>6</sup> ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>

<sup>7</sup> ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>

РИС. 4. Импорт товарной группы 2711\* по странам, 2016–2020 гг., тыс. долл. США<sup>8</sup>



\* 2711 – Газы нефтяные и углеводороды газообразные прочие

Новые перспективы по торговле газом для России открываются в связи с вводом в эксплуатацию Турецкого потока: газ из России поступает не только потребителям в Турции, но также и в Болгарии, Греции, Македонию и Румынии, а с 2021 г. – в Сербию, Боснию и Герцеговину. Несмотря на то, что в первый год работы Турецкий поток был загружен на 43 %, что связано с непосредственным влиянием кризиса на энергетический рынок, планируется расширение диапазона поставок газа в Австрию и Венгрию в обход транзита через Украину<sup>9</sup>. В сентябре 2021 г. завершено строительство газопровода «Северный поток-2», коммерческие поставки по которому должны начаться до конца 2021 г. Эксперты отмечают, что запуск газопровода в ближайшие месяцы не будет иметь значительного влияния на объемы экспорта в Европу, так как в основном будет осуществляться перенаправление поставок с других маршрутов. Ограничения по наращиванию экспорта России также связаны с преобладающей ориентацией на нужды отечественного рынка и ростом цен на газ в Европе, однако по мере заполнения отечественных хранилищ может происходить постепенное увеличение поставок в Европу, что подразумевает под собой дополнительные перспективы для России на рынке газа при условии преодоления Европой кризиса, связанного с «деградацией» спроса на газ<sup>10</sup>.

### Перспективы развития нефтехимической промышленности на современном этапе

На энергетическом рынке с учетом усиления роли климатической повестки прочно определился тренд на изменение структуры мирового энергобаланса в пользу низкоуглеродных источников энергии. Для России, как крупнейшего игрока на углеводородных рынках, данная смена энергетической парадигмы означает серьезные вызовы, связанные со снижением спроса на отечественное сырье и продукты его переработки. Доля минерального сырья (товарная группа 27 ТН ВЭД) в мировом экспорте энергоресурсов для России в 2020 г. снизилась на 10 % и составила около 42 % общего экспорта страны<sup>12</sup>.

При этом спрос на нефтехимические продукты, такие как полимеры, увеличился во время пандемии COVID-19, особенно в секторах медицины, упаковки и бытовой техники. Ослабление спроса на топливо в транспортной сфере и глобальные обязательства по обеспечению углеродной нейтральности к 2050 г. побуждают нефтеперерабатывающие предприятия активизировать инициативы по переработке сырой нефти в химические вещества<sup>13</sup>. Нефтехимия используется для производства различных

продуктов, таких как пластмассы, моющие средства, шампуни и косметика, промышленные растворители, смазки, фармацевтические препараты, удобрения и ковровые покрытия. По прогнозам, сделанным до пандемии нефтяной компанией BP, в ближайшие 20 лет этот рынок вырастет на 16–20 %<sup>14</sup>. С учетом высокого уровня обеспеченности России нефтегазовыми ресурсами, отечественное производство полимерных материалов имеет существенный потенциал для роста. На текущий момент в стране действует ряд проектов по строительству производственных нефтегазохимических комплексов, таких как, например, «ЗапСибНефтехим» в Тобольске («СИБУР»),

<sup>8</sup> ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>

<sup>9</sup> <https://www.interfax.ru/business/776269>

<sup>10</sup> [https://lenta.ru/news/2021/10/07/nors\\_stream\\_2/](https://lenta.ru/news/2021/10/07/nors_stream_2/)

<sup>12</sup> Рассчитано авторами на основании данных ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>

<sup>13</sup> Rising chemicals demand to boost COTC initiatives / Argus Media group – <https://www.argusmedia.com/en/news/2258586-rising-chemicals-demand-to-boost-cotc-initiatives>

<sup>14</sup> BP Energy outlook 2018 – <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>

<sup>15</sup> <https://rusenergyweek.com/news/novye-vyzovy-himicheskoy-otrasli-klimaticheskaya-povestka/>



«Амурский газохимический комплекс» («СИБУР» и «China Petroleum & Chemical Corporation»), «Новоуренгойский газохимический комплекс» («Газпром»), ряд проектов осуществляется в Арктике. Таким образом, многие отечественные компании в отрасли поддерживают общий тренд на развитие нефтехимии, причем для России это развитие связано преимущественно с выпуском экспортно ориентированной крупнотоннажной химии, в то время как в более узкопрофильном сегменте малотоннажной химии зависимость от импортных поставок сохранится.

Кроме того, расширение отечественного производства основных нефтегазохимических продуктов с ориентацией на экспорт, в особенности пластмасс, может быть сильно ограничено ужесточением экологической политики во многих странах мира по части сокращения одноразовых пластиковых изделий и упаковки.

Химическая отрасль наряду с энергетической в той же степени сталкивается с вызовом, связанным с усилением климатической повестки, что вынуждает компании нефтехимической отрасли усиливать свое вовлечение в проекты устойчивого развития. При этом нефтехимия характеризуется созданием высокой добавленной стоимости и технологичностью. В связи с этим в течение Российской

энергетической недели, которая прошла в Москве с 13 по 15 октября 2021 г., неоднократно обсуждалась необходимость развития сотрудничества и технологий, которые смогли бы обеспечить возможность безболезненного, в рамках климатического перехода, существования нефтехимии, возникающей из нефтепереработки, и классической нефтехимии, возникающей из задач декарбонизации<sup>15</sup>.

Таким образом, кризис, связанный с пандемией коронавируса, подчеркнул уязвимость рынка нефти в силу его высокой турбулентности, а также выявил дополнительные перспективы для рынка газа.

Дальнейшее развитие мировой торговли энергоресурсами будет характеризоваться ростом самообеспеченности Северной Америки и сменой роли с ведущего нетто-импортера на нетто-экспортера ископаемого топлива. Также, на наш взгляд, произойдет увеличение импорта энергоресурсов в Европу за счет прироста поставок природного газа, в то время как спрос на нефть в регионе будет снижаться. В развивающихся странах импорт энергоресурсов будет увеличиваться по всем товарным направлениям. В межрегиональной торговле газом с учетом увеличения объемов поставок будет также усиливаться и роль СПГ.

Необходимо отметить, что в условиях беспрецедентной нестабильности нефтяного рынка и повышенного интереса к декарбонизации и достижению углеродной нейтральности в ряде стран мира перед нефтегазовым сектором стоит задача реструктуризации отрасли и перевода производства в более экологически чистое русло. Для России с ее минеральными богатствами данная ситуация сулит как вызовы, так и новые возможности, с учетом целей социально-экономического развития страны и приоритетов по диверсификации экспорта. ●

**Литература**

1. Захаров А.Н., Овакимян М.С. Топливно-энергетические комплексы ведущих стран мира (России, США, Франции и Италии): учебное пособие (2-е изд., доп.) М.: МГИМО-Университет. 2016. С. 177.
2. Захаров А.Н. Глобальная энергетическая проблема в мировой экономике. Российский внешнеэкономический вестник. – 2017. – № 3. – С. 3–10 (начало); – 2017. – № 4. – С. 14–24 (окончание) <http://www.rfej.ru/>
3. Захаров А.Н. Перспективы реиндустриализации развитых экономик (США, Канада и Австралия). Вестник МГИМО-Университет. 2018. № 1 (58). С. 213–245.
4. Захаров А.Н., Русак Н.А. Развитие экспорта газа из России в КНР. Российский внешнеэкономический вестник. – 2020. – № 4. – С. 83–86 <http://www.rfej.ru/>
5. WORLD ECONOMIC OUTLOOK 2021 / INTERNATIONAL MONETARY FUND – <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021>.
6. Global Energy Outlook 2021: Pathways from Paris – [https://media.rff.org/documents/RFF\\_GEO\\_2021\\_Report\\_1.pdf](https://media.rff.org/documents/RFF_GEO_2021_Report_1.pdf)
7. BP Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition – <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
8. Нефтегазохимия в России: возможности для роста / Июль 2021 / Фонд «Центр стратегических разработок» – <https://www.csr.ru/ru/publications/neftegazokhimiya-v-rossii-vozmozhnosti-dlya-rosta/>
9. ITC Trade map: Trade statistics for international business development / International Trade Centre – <https://www.trademap.org/>
10. Rising chemicals demand to boost COTC initiatives / Argus Media group – <https://www.argusmedia.com/en/news/2258586-rising-chemicals-demand-to-boost-cotc-initiatives>.

KEYWORDS: international energy trade, global energy transition, oil and gas sector, petrochemistry.

<sup>15</sup> <https://rusenergyweek.com/news/novye-vyzovy-himicheskoy-otrasli-klimaticheskaja-povestka/>

# КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

## 2–4 декабря

Конференция и выставка оборудования для нефтегазовой и химической промышленности

**OGMTV China 2021**

Китай, Хайкоу

## ДЕКАБРЬ

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

## 7–9 декабря

Международная выставка нефтегазовой и нефтехимической промышленности

**Oil and Gas Asia (OGA) 202**

Малайзия, Куала-Лумпур

## 7–10 декабря

25-я международная специализированная выставка

**Безопасность и охрана труда**

г. Москва, Экспоцентр

## 8–9 декабря

Форум России и стран СНГ по технологиям производства минеральных удобрений

Россия, Сочи

## 10 декабря

IV Технологический фестиваль

**МУ.ТЭСН**

г. Санкт-Петербург, Технопарк

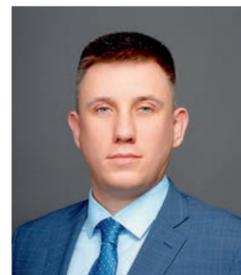
# ДИСПЕРСНОСТЬ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПО ДЛИНЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПРИ ЕГО РАБОТЕ НА ВОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

В СТАТЬЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИСПЕРСНОСТИ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПО ДЛИНЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА (ЭЦН) НА ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ. ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ (ГАЗСОДЕРЖАНИЕ СМЕСИ, ДАВЛЕНИЕ НА ВХОДЕ В НАСОС, ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ВАЛА) И СФОРМУЛИРОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИАМЕТРА ГАЗОВОГО ПУЗЫРЬКА ПО ДЛИНЕ ЭЦН ПРИ ЕГО РАБОТЕ НА ВОДОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

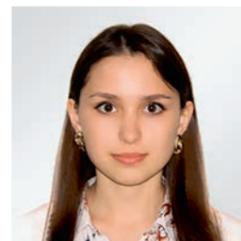
THE ARTICLE PRESENTS THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF GAS PHASE PARTICLE DISPERSION ALONG AN ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP (ESP) OPERATING ON A GAS-LIQUID MIXTURE. THE INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS (GAS CONTENT OF THE MIXTURE, PRESSURE AT THE PUMP INTAKE, SHAFT SPEED) HAS BEEN ANALYZED AND THE MAIN TRENDS OF GAS BUBBLE DIAMETER CHANGING ALONG THE ESP LENGTH WHEN IT WORKS ON WATER-AIR MIXTURE HAVE BEEN FORMULATED

Ключевые слова: газожидкостная смесь (ГЖС), газовый пузырек, электроприводной центробежный насос (ЭЦН).

УДК 6722. 276.054



**Горидько Кирилл Александрович**  
руководитель направления по управлению потенциалом скважин ООО «Газпромнефть-Хантос», соискатель кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина



**Гиндуллина Айсылу Асхатовна**  
инженер кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина



**Вербицкий Владимир Сергеевич**  
доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений», РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, к.т.н.

## Введение

Доля скважин, оснащенных установками электроприводных центробежных насосов (УЭЦН), в РФ составляет более, чем 67% [7]. При эксплуатации многих скважин серийными УЭЦН компании-операторы сталкиваются с таким осложняющим фактором, как наличие свободного газа у приема глубинно-насосного оборудования (ГНО). Большое количество свободного газа в добываемой продукции является причиной деформации напорно-расходных и энергетических характеристик электроприводного центробежного насоса (ЭЦН) и приводит к нестабильной работе насоса и срыву подачи.

На практике защитные модули ЭЦН часто применяются бессистемно, по инерции. Например, центробежные газосепараторы на приеме ЭЦН применяют в скважинах без учета оценки параметра входного газосодержания, хотя зачастую более высокую эффективность лифтирования скважинной продукции можно достичь применением диспергирующих устройств, конических насосов, использованием мультифазных ступеней [1]. Данный подход может привести к преждевременным отказам, дополнительным операционным затратам. Для оптимизации режима работы скважин, оборудованных УЭЦН, необходимо изучить физические процессы, определяющие работу электроприводных центробежных насосов при откачке газожидкостных смесей (ГЖС), с акцентом на менее изученное свойство ГЖС – дисперсность.

Отечественными и зарубежными авторами дисперсность газовой фазы была отмечена как фактор, который определяет эффективность работы ЭЦН на ГЖС. Под дисперсностью газовой фазы в настоящей работе понимается диаметр газового пузырька  $d_{п}$  (диаметр пузырька газа, мм).

В экспериментальных исследованиях дисперсности газовой фазы для визуализации потока ГЖС применялись различные типы оборудования. В работе [5] пробы ГЖС отбирали в пробоотборник из ступеней насоса напротив выхода из каналов рабочего колеса и камеры через специальные

штуцера. В других исследованиях [8, 11] для получения визуального доступа к газожидкостному потоку внутри насоса были проведены модификации рабочих ступеней и их покраска.

Авторы [11] в своих опытах исследовали зависимость объемной доли газа на распределение пузырьков газа по размерам, при повышении значения объемного расходного газосодержания ГЖС наблюдается увеличение эквивалентного диаметра пузырьков газа. Однако эксперименты были проведены для небольших значений входного газосодержания (объемно-расходным газосодержанием  $\beta_{г}$  у приема ЭЦН принято называть отношение объемного расхода газа  $Q_{г}$  ( $Q_{г}$  – объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с) через рассматриваемое сечение при термодинамических условиях в нем к объемному расходу смеси жидкости  $Q_{ж}$  (объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с) и газа  $Q_{г}$  при тех же условиях (1)):

$$\beta_{г} = \frac{Q_{г}(P_{вх})}{Q_{ж} + Q_{г}(P_{вх})}. \quad (1)$$

Противоположное поведение наблюдалось со скоростью вращения вала – с увеличением скорости уменьшался эквивалентный диаметр пузырьков газа [11].

Авторы [8] также изучали зависимость размера пузырьков газа от объемного газосодержания при различных скоростях вращения вала насоса.

Эксперименты по исследованию дисперсности газовой фазы по длине электроприводного центробежного насоса для различных модельных смесей («вода – газ», «масло – газ», «вода – ПАВ – газ») были проведены в работе [5]. Также автором были проведены опыты по изучению влияния давления на входе в насос на размеры газовых пузырьков. Увеличение давления на входе вызывало незначительное уменьшение среднеобъемного диаметра по длине насоса при неизменном числе пройденных ГЖС ступеней. Для исключения фактора влияния давления, развиваемого ступенями насоса, эксперименты проводились на режиме нулевого напора (в правой области рабочей характеристики насоса).

Совместив напорно-расходную характеристику (НРХ) насоса и зависимость диаметра пузырька  $d_{п}$

ТАБЛИЦА 1. Условия исследования дисперсности ГЖС

Автор	Тип насоса	Тип смеси	Отбор	Диапазон дисперсности	Давление	Диапазон газосодержаний
Minemura K., Murakami M. [10]	Центробежный насос с радиальной полуоткрытого типа ступенью диаметром 224 мм	Вода – воздух	1 ступень	0,25 – 0,43 мм	0,1 МПа	2 %
Дроздов А.Н. [5]	ЭЦН5-80	Вода – воздух Вода – ПАВ – воздух Масло – воздух	На входе 1, 10, 20, 35, 76 ступени	0,016 – 1,36 мм	0,1 – 0,6 МПа	1 %
Izturiz D.L., Kenyery F. [9]	GOULDS 10GS05	Вода – воздух	На входе	0,9 – 1,14 мм	0,138 – 0,2 МПа	0 – 2 %
Barrios L., Prado M. G. [8]	Centrilift GC6100	Вода – воздух	2 ступень	0,35 – 0,92 мм	0,17 МПа	0,2 – 0,5 %
Verde W. M. and oth. [11]	ESP P23 (Baker-Hughes)	Вода – воздух	1 ступень	0,25 – 0,3 мм	0,15 МПа	0,28 – 0,35 %
Вербицкий В.С., Горидько К.А., Федоров А.Э., Дроздов А.Н. [2]	ЭЦН5-80	Вода – воздух	На входе	0,2 – 2,9 мм	0,6 – 2,1 МПа	0,5 – 18 %
Авторы данной статьи	ЭЦН5-50	Вода – воздух	На входе, 10, 20, 38, 78, 118 ступени	0,12 – 1,55 мм	0,6 – 2,1 МПа	1,6 – 38,7 %

от объемно-расходного газосодержания  $\beta_r$ , авторы работы [2] обнаружили, что ухудшение параметров работы насоса интенсифицировалось при достижении определенного переходного среднего диаметра пузырька.

Авторами [12] создана трехмерная гидродинамическая модель, при помощи которой можно было прогнозировать размеры пузырьков газа для различных условий работы насоса, и проведен сравнительный анализ существующих моделей прогнозирования  $d_{п}$ .

В таблице 1 представлены основные условия проведения исследований различных авторов.

### Методика проведения экспериментальных исследований

Для изучения изменения дисперсности газовой фазы по длине электроприводного многоступенчатого центробежного насоса в лаборатории кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина была собрана установка, упрощенная схема которой представлена на рисунке 1.

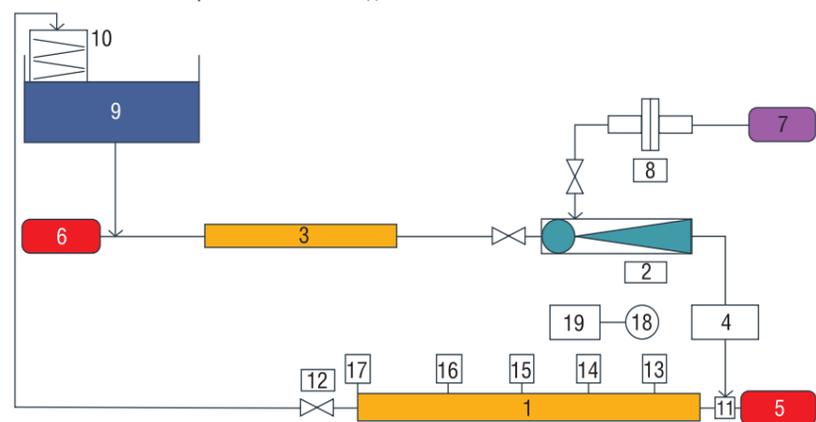
В качестве исследуемого насоса использовался ЭЦН5-50 со ступенями радиального типа, количество ступеней которого составляло  $Z_{ст}$  (количество ступеней ЭЦН) = 118.

Эксперименты по изучению изменения дисперсности ГЖС по длине ЭЦН проводились на модельной смеси с предвключенным жидкостно-газовым эжектором (ЖГЭ) 2 при входных давлениях насоса  $P_{вх}$  (давление у входа в ЭЦН, МПа), равных 0,6, 1,1,

2,1 МПа, а также при частотах тока, равных 40, 50, 60 Гц. В роли модельной смеси выступала смесь «вода – газ», где в качестве газа использовался воздух.

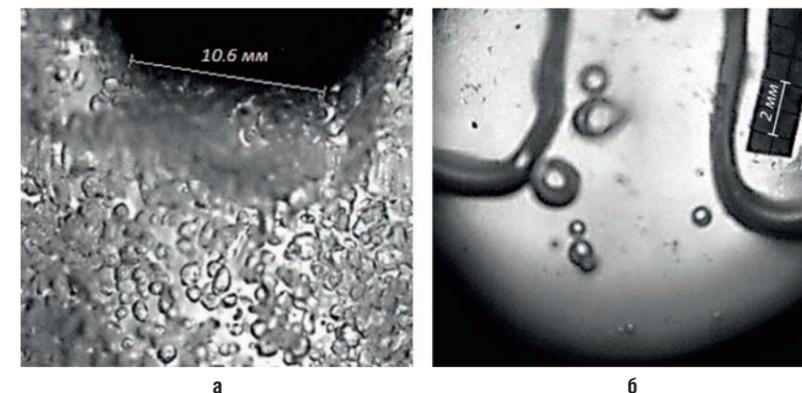
Эксперименты проводились следующим образом. Жидкость из емкости поступала на прием подпорного насоса 3 (Hydra-Cell серии D/G-35), при этом задвижка 12 была в открытом положении, а линия газа – в закрытом с помощью редуктора. Включался насос 3 на определенной

РИС. 1. Схема экспериментального стенда



1 – испытуемый ЭЦН; 2 – ЖГЭ; 3 – подпорный насос; 4 – смотровой модуль; 5 – электродвигатель; 6 – компрессор; 7 – реометрический стенд; 8 – емкость с жидкостью; 9 – гравитационный сепаратор; 10 – приемный модуль высокого давления; 11 – задвижка; 12–17 – смотровые окошки; 18 – видеокамера; 19 – компьютер

РИС. 2. Пример фотографий структуры ГЖС у входа (а) и в 118 ступени насоса (б) ( $D_c = 3,8$  мм,  $f = 60$  Гц ( $n = 3513$  об/мин),  $P_{вх} = 0,6$  МПа,  $\beta_r = 8,96\%$ )



частоте для достижения высоких давлений перед входом в сопло ЖГЭ 2. С помощью частотного преобразователя (ЧП) включался исследуемый насос 1 на частоте, равной 60 Гц. Прикрывая задвижку 12, можно было регулировать входное давление ЭЦН 1. При достижении установившегося режима фиксировались рабочие параметры. Мощность, потребляемая ЭЦН 1, измерялась мотор-весами.

Снижением частоты подпорного насоса 3 при помощи частотного преобразователя уменьшался расход жидкости и входное давление в ЭЦН 1 ( $P_{вх}$ ). Открывая редуктор, добавлялся газ, подающийся от компрессора 7 (проходил через реометрический стенд 8). Этот шаг нужен был для восстановления давления на приеме ЭЦН 1 до исходного. После установления режима работы стенда, снимались параметры работы установки на ГЖС при различных  $\beta_r$ .

Съемка структуры потока ГЖС производилась с помощью высокоскоростной камеры 18 модели Phantom Miro eX4 со скоростью съемки до 1800 кадров в секунду [3] через смотровой модуль 4 на выходе из ЖГЭ 2 и через смотровые окошки 13–17, расположенные по длине испытуемого насоса 1. Камера управлялась компьютером 19. В качестве источника света были использованы светодиодные фонари (LED) с мощностью света 25 Вт.

Далее проводились аналогичные испытания по описанным выше шагам с давлениями на входе в ЭЦН 1  $P_{вх}$ , равными 0,6, 1,1, 2,1 МПа.

Для изучения влияния частоты на дисперсность газовой фазы при работе ЭЦН на ГЖС поочередно меняли частоту сначала на 50 Гц, затем на 40 Гц при помощи ЧП исследуемого насоса 1, поддерживая при этом постоянное давление на приеме ЭЦН. Детальная методика проведения экспериментальных исследований характеристик ЭЦН с учетом дисперсности газовой фазы представлена в статье [4].

### Методика обработки данных

Из полученного видеофайла, снятого на высокоскоростную камеру, при помощи программного обеспечения (ПО) получали скриншоты в виде фотографий структуры ГЖС (рисунок 2), количество которых варьировалось в зависимости от количества пузырьков. Необходимое количество пузырьков для каждой

ступени режима было принято не менее 200–300. Затем каждый файл обрабатывался в ПО, которое позволяло измерить размеры пузырьков и выгрузить их в MS Excel для дальнейшей статистической обработки [6]. Для определения масштаба на каждом смотровом окошке была прикреплена миллиметровая бумага.

После обработки фотографий были получены значения диаметров пузырьков на входе в электроприводной центробежный насос и по его длине в пяти различных ступенях (10-й, 20-й, 38-й, 78-й, 118-й). По полученному массиву данных строились гистограммы распределения пузырьков газа по размерам. На рисунках ниже изображены графики для режима  $P_{вх} = 0,6$  МПа и  $\beta_r = 8,96\%$ ,  $f$  (частота тока, Гц) = 60 Гц, соответствующие рисунку 2 и характеризующие распределение диаметров пузырьков ( $d_{п}$ ).

Изображенная на рисунке 3 гистограмма распределения пузырьков газа по размерам соответствует режиму, при котором давление на приеме  $P_{вх} = 0,6$  МПа, объемно-расходное газосодержание на входе  $\beta_r = 8,96\%$ , подача жидкости  $Q_{ж} = 85,41$  м<sup>3</sup>/сут, а частота вращения вала насоса  $n = 3513$  об/мин. Красная гистограмма соответствует распределению у входа в ЭЦН, а синяя – на 118 ступени. При этом для синей гистограммы значения давления и газосодержания на ступени становятся равными  $P_{п}$  (давление на ступени отбора ГЖС, МПа) = 3,88 МПа и  $\beta_r(P_{п}) = 1,57\%$ .

РИС. 3. Гистограмма распределения пузырьков газа ( $d_{п}$ ) по размерам у входа и на 118 ступени насоса

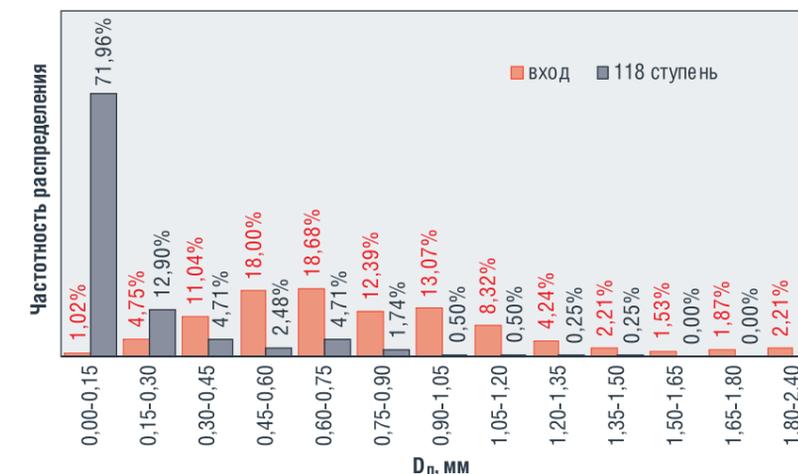
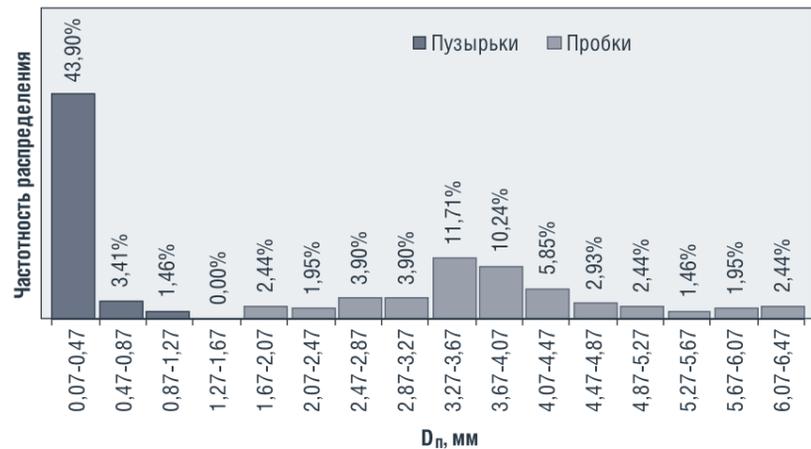


РИС. 4. Гистограмма распределения пузырьков газа по размерам на 10 ступени насоса при  $P_{вх} = 0,6$  МПа и  $\beta_r = 18,88\%$  ( $d_n$ )



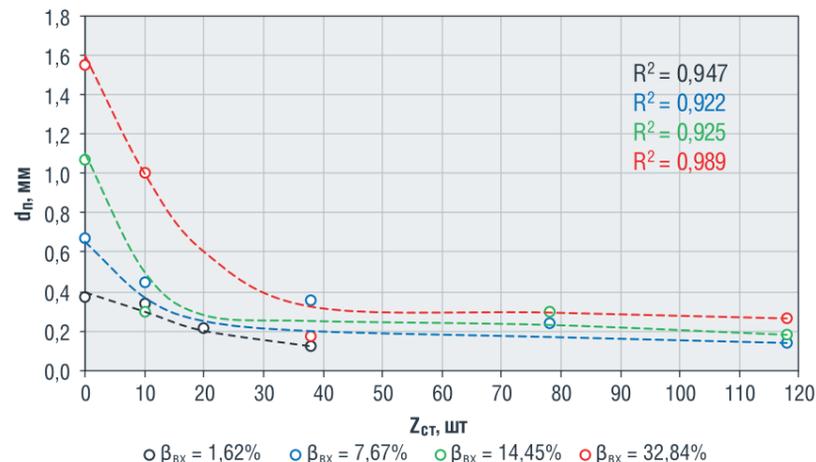
Как видно из рисунка 3, увеличение числа пройденных ступеней приводит к смещению пика частоты в левую сторону. При этом значение пика возрастает, и график становится более сжатым по сравнению с красным графиком, построенным для входа в насос. Видно, что на выходе из насоса порядка 85% пузырьков имеют диаметр меньше 0,30 мм, в то время как на входе в ЭЦН таких пузырьков всего 6%. Это говорит об интенсивном уменьшении диаметра пузырька за счет ряда факторов: увеличение давления с последующим сжатием пузырька, растворение части пузырьков газа в жидкости, дробление пузырьков газа в поле центробежных сил внутри рабочих колес ЭЦН за счет стесненных условий, длины пробегу пузырька в поле центробежных сил (номер ступени). Влияние каждого из факторов различается в зависимости от условий эксплуатации.

### Эффект рециркуляции

Эффект рециркуляции был изучен авторами [8, 11], благодаря визуализации потока ГЖС внутри рабочего колеса ЭЦН. Согласно [11], при режимах, близких к пробковому потоку, начинали появляться газовые каверны, вызывающие нестабильность потока, и область мелких пузырей, отделившихся и сформировавших зону рециркуляции. Часть рециркулирующих пузырьков двигаются в периферийном направлении, а другая – со стороны выхода рабочего колеса к его входу, где при более высоких значениях газосодержания могут сталкиваться

с газовой каверной, образуя при этом пузырек еще большего размера [8]. В ходе данных экспериментов было замечено, что в ряде режимов наблюдается увеличение  $d_n$  в интервале 1–10 ступеней. Попадая в насос, газовые пузырьки могут коалесцировать в крупные газовые каверны, так как  $\beta_r$  имеет достаточно высокие значения и осевое течение преобразуется в центробежное, которое имеет усиленный эффект сепарации газа в объеме. Соответственно, пузырьки газа и жидкость в объеме разделяются на две несмешивающиеся объемные фазы, при этом газовые пузырьки становятся ближе друг к другу и сливаются в большие по размеру газовые пузыри (пробки газа). Также коалесценция происходит из-за скольжения пузырьков газа

РИС. 5. Изменение диаметра пузырька газа  $d_n$  по длине насоса ЭЦН5-50 для разных значений входного  $\beta_r$  на смеси «вода–газ» при  $P_{вх} = 1,1$  МПа и  $n \approx 3520$  об/мин



в жидкости вдоль лопасти рабочего колеса, с образованием застойных зон, в которых газовые пузырьки коалесцируют в газовые каверны. Все это приводит к увеличению значения  $d_n$ . Результаты анализа наблюдаемых эффектов имеют важное практическое значение. Динамика изменения дисперсности газовой фазы позволяет сформулировать требования к проектированию новых диспергирующих устройств и модернизации существующих образцов.

Такие «вылеты» (увеличение) диаметров пузырьков газа в интервале 1–10 ступени имеют характерный вид гистограмм с двумя явно выраженными пиками (рисунок 4). Медианное значение диаметра пузырьков (темно-синяя заливка гистограммы) для режима с  $P_{вх} = 0,6$  МПа,  $\beta_r = 18,88\%$ ,  $Q_{ж} = 42$  м³/сут и  $n$  (частота вращения вала, об/мин) = 3544 об/мин составляет 0,15 мм, в то время как медианное значение для пробок (светло-голубая заливка гистограммы) – 3,74 мм.

### Обобщение результатов

#### Влияние газосодержания

На рисунке 5 изображены зависимости среднего диаметра пузырька газа по длине насоса (от номера ступени)  $d_n = f(Z_{ст})$  при различных значениях входного объемного газосодержания  $\beta_r$  при  $P_{вх} = 1,1$  МПа. Видно, что резкое снижение диаметра пузырька происходит в первых 10–20 ступенях насоса, далее его значение меняется незначительно.

РИС. 6. Изменение диаметра пузырька газа  $d_n$  по длине насоса ЭЦН5-50 при значениях  $P_{вх} = 0,6$  МПа ( $\beta_r = 18,88\%$ ,  $Q_{ж} = 42$  м³/сут),  $P_{вх} = 2,1$  МПа ( $\beta_r = 18,67\%$ ,  $Q_{ж} = 72,34$  м³/сут) на смеси «вода–газ»

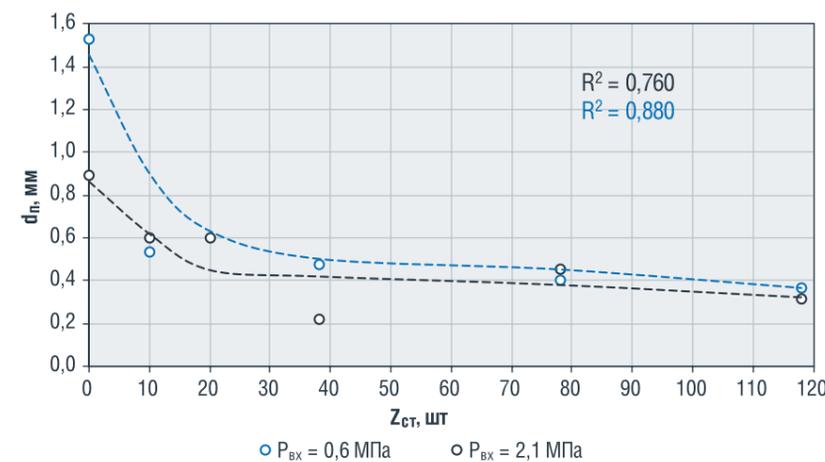


График снижения можно описать приблизительно экспоненциальным законом. На рисунке 5 (и далее на рисунках 6 и 7) представлены коэффициенты детерминации  $R^2$  полученных зависимостей изменения диаметра газового пузырька по длине насоса для рассматриваемых режимов работы ЭЦН.

Изучая график, можно сказать о том, что увеличение  $\beta_r$  приводит к увеличению диаметра пузырей в начале, что соответственно сказывается на характеристиках работы ЭЦН, а с возрастанием номера ступени разница в их размерах становится незначительной.

При малых газосодержаниях (менее 5%) на последних смотровых окошках, на 78 и 118 ступенях, визуально невозможно определить наличие пузырьков, так как они становятся очень маленькими, и газожидкостная смесь становится квазигомогенной.

#### Влияние давления на входе

Давление у приема насоса для осуществления экспериментов задавали  $P_{вх} = 0,6, 1,1, 2,1$  МПа при неизменной частоте тока  $f = 60$  Гц. Для построения графиков зависимости  $d_n$  от количества ступеней из серии режимов при каждом значении входного давления были выбраны режимы, соответствующие близким значениям входного газосодержания.

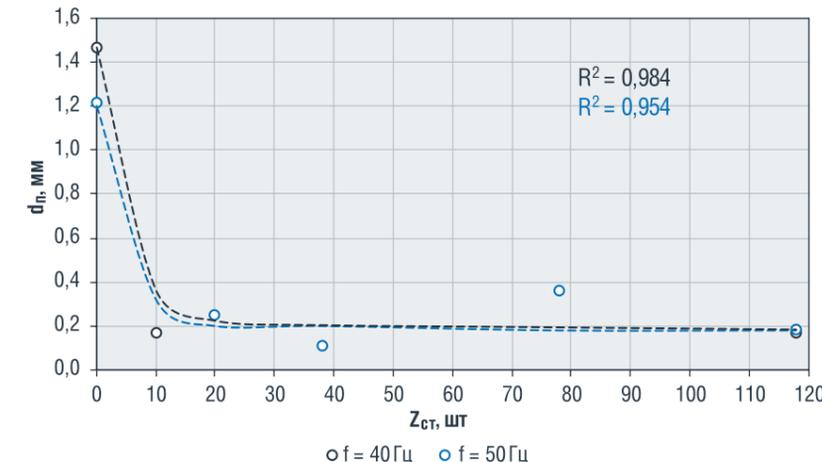
Видно, что вне зависимости от давления на приеме происходит снижение параметра  $d_n$

интенсивно после 10-й ступени, при этом снижение можно описать приблизительно экспоненциальным законом.

В ходе эксперимента, соответствующего  $P_{вх} = 1,1$  МПа, не получены близкие значения газосодержаний по сравнению с  $P_{вх} = 0,6$  и  $2,1$  МПа. Так как сравнение режима при  $P_{вх} = 1,1$  МПа с остальными было бы некорректным, то принято решение сравнить оставшиеся два режима.

Рост давления на приеме от 0,6 МПа до 2,1 МПа приводит к уменьшению  $d_n$  по длине насоса при равном числе ступеней, пройденных ГЖС. Это может объясняться тем, что с увеличением  $P_{вх}$  затрудняется образование больших газовых каверн в ступени при одинаковом входном газосодержании.

РИС. 7. Изменение диаметра пузырька газа  $d_n$  по длине насоса ЭЦН5-50 при значениях частоты тока  $f = 40$  ( $\beta_r = 10,64\%$ ,  $Q_{ж} = 43,47$  м³/сут),  $f = 50$  ( $\beta_r = 10,87\%$ ,  $Q_{ж} = 50,94$  м³/сут) и  $P_{вх} = 1,1$  МПа



При меньшем давлении на входе происходит более интенсивное уменьшение диаметра пузырька в первых 10–20 ступенях.

### Влияние частоты вращения вала

Давление у приема насоса для осуществления экспериментов по изучению влияния частоты тока поддерживалось равным  $P_{вх} = 1,1$  МПа. Частота тока для испытываемого насоса была равной  $f = 40, 50, 60$  Гц.

Как видно из рисунка 7, график зависимости  $d_n$  по длине насоса имеет характерный вид: при малых газосодержаниях до 10-й ступени идет резкое уменьшение диаметра газового пузырька, далее идет его снижение, которое можно описать приблизительно экспоненциальным законом.

Изменение частоты тока приводит к изменению скорости вращения вала насоса (при 60 Гц средняя скорость вращения вала  $n \approx 3500$  об/мин; при 50 Гц –  $n \approx 2960$  об/мин; при 40 Гц –  $n \approx 2370$  об/мин). Изменение скорости вращения приводит к перераспределению баланса сил, действующих на пузырек газа. Таким образом, возрастает составляющая центробежной силы. Сопоставляя режимы при частотах тока 40 и 50 Гц при близких  $\beta_r$ , можно заметить, что влияние частоты вращения вала на диаметр пузырька газа  $d_n$  оказывает меньшее влияние по сравнению с процессом увеличения давления на входе в насос, при прочих равных условиях.

Проанализировав изменение диаметра пузырька газа по длине насоса в зависимости от различных факторов (рисунки 5–7), можно выделить две характерные области:

- область активного диспергирования (от входа в насос до граничных значений 10–38 ступеней в зависимости от условий), в которой наблюдается проскальзывание газовой фазы, пассивное сжатие и резкое уменьшение диаметра газового пузырька;
- область активного сжатия и пассивного диспергирования (от граничных значений до конца насоса), в которой значительно повышается давление, уменьшается проскальзывание газовой фазы, а диаметр газового пузырька меняется слабо.

Ввиду того что при движении ГЖС по длине ЭЦН на нее действуют различные силы (силы гравитации, инерции, вязкостного трения), происходит одновременно осевое и радиальное движение как внутри одной ступени, так и от ступени к ступени в стесненных условиях, а также наблюдается проскальзывание фаз – в совокупности эти факторы могут по-разному влиять на процесс работы ЭЦН и приводить к отклонению свойств ГЖС от простых физических моделей. Таким образом, в поле центробежных сил ГЖС может изменять свои свойства, которые не учитывают основные законы физики. Определение диаметра газового пузырька при различных условиях необходимо для развития модели прогнозирования структуры ГЖС в поле центробежных сил и определения проскальзывания жидкости и газа.

### Заключение

Для проведения исследований создан экспериментальный стенд для исследования дисперсности газовой фазы при работе ЭЦН на ГЖС. Проведены исследования дисперсности газовой фазы по длине ЭЦН при его работе на водовоздушной смеси при различных значениях: давления на входе, газосодержания и частоты вращения вала в правой области рабочей характеристики насоса.

Результаты стендовых исследований позволили сформулировать следующие выводы:

1. Диаметр пузырьков газа уменьшается при прохождении ГЖС по длине насоса за счет ряда факторов: увеличение давления с последующим объемным сжатием пузырька, частичное растворение пузырьков воздуха в воде, дробление пузырьков газа в поле центробежных сил внутри рабочих колес ЭЦН в режиме стесненных условий.
2. Получены абсолютные значения диаметров пузырьков газа при различных условиях работы насоса ЭЦН5-50 по длине насоса (различные входное объемное газосодержание, давление на приеме, скорость вращения вала), что может быть использовано при проектировании и дизайне предвключенных диспергирующих и мультифазных ступеней.
3. Полученные значения размеров газовых пузырьков подтверждают положения о том, что:
  - увеличение входного объемного газосодержания с 1,62 % до 32,84 % ведет к некоторому увеличению размеров пузырьков газа с 0,37 мм до 1,55 мм на входе при прочих равных условиях;
  - с ростом давления на приеме насоса с 0,6 МПа до 2,1 МПа диаметр пузырьков уменьшается с 1,53 мм до 0,89 мм на входе и с 0,37 мм до 0,31 мм на последней ступени ЭЦН;
  - с увеличением скорости вращения вала, то есть при работе насоса на 40 и 50 Гц, размеры пузырьков газа уменьшаются с 1,47 мм до 1,21 мм на входе и имеют приблизительно одинаковый характер изменения по длине насоса и размер на последней ступени ЭЦН.

### Рекомендации

Для расширения экспериментальной области знаний работы ЭЦН на ГЖС рекомендуется:

1. Провести дополнительные эксперименты по влиянию давления на приеме и частоты вращения вала на дисперсность ГЖС в левой части рабочей характеристики ЭЦН.
2. Провести аналогичные исследования по изучению распределения пузырьков газа

по размерам на модельной смеси «вода–ПАВ–газ» (модель низкообводненной продукции нефтяных скважин).

3. Обобщить результаты экспериментальных исследований дисперсности газовой фазы (диаметра пузырька газа) при работе ЭЦН на ГЖС. ●

### Литература

1. Вербицкий В.С. Результаты исследований эффективности работы устройств защиты УЭЦН от вредного влияния свободного газа / В.С. Вербицкий / Инженерная практика. – 2011. – № 5. – С. 134–141.
2. Вербицкий В.С. Исследование характеристик электроцентробежного насоса с эжектором на входе при откачке газожидкостных смесей / В.С. Вербицкий, К.А. Горидько, А.Э. Федоров, А.Н. Дроздов / Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 106–109.
3. Высокоскоростные камеры phantom [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.phantomhs.ru. – Дата обращения: 18.06.2020. – Загл. с экрана.
4. Горидько К.А. Стенд исследований дисперсности газовой фазы в потоке газожидкостной смеси по длине электроцентробежного насоса / К.А. Горидько / Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6. – С. 62–66. DOI: 10.24411/2076-6785-2020-10106.
5. Дроздов А.Н. Разработка методики расчета характеристики погружного центробежного насоса при эксплуатации скважин с низкими давлениями у входа в насос / А.Н. Дроздов / Дис. ... канд. техн. наук. – М. – 1982. – 212 с.
6. Письменный Д.Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистике и случайным процессам / Д.Т. Письменный – 5-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2010. – 288 с.
7. Сервис против простоя. Обзор рынка сервиса механизированного фонда скважин [Электронный ресурс] // «Нефтегазовая вертикаль» № 9-10/2020. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.ngv.ru/upload/iblock/b06/b06acbaa23ad0fde14425ab97db39b6b.pdf>. – Дата обращения: 26.07.2020. – Загл. с экрана.
8. Barrios L. Experimental Visualization of Two Phase Flow Inside an Electrical Submersible Pump Stage / L. Barrios, M. G.Prado / Proceedings of the ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. – OMAE2009-79726.
9. Izturiz D.L. Effect of Bubble Size on an ESP Performance Handling Two-Phase Flow Conditions / D.L. Izturiz, F. Kenyery / USB-LABCEN. – Venezuela. – 2007.
10. Minemura K. Effects of Entrained Air on the Performance of a Centrifugal Pump (First Report, Performance and Flow Conditions) / K. Minemura, M. Murakami / Bulletin of the JSME. – 17.110 (1974a) – 1047–1055.
11. Verde W. M. Experimental study of gas-liquid two-phase flow patterns within centrifugal pumps impellers / W. M. Verde and oth / Experimental Thermal and Fluid Science – 2017 – p. 37–51.
12. Zhu J. Numerical study on Electrical-Submersible-Pump two-phase performance and bubble-size modeling / J. Zhu, H.-Q. Zhang / Journal of Petroleum Science and Engineering. – August 2017. – <https://doi.org/10.2118/170727-PA>.

KEYWORDS: gas-liquid mixture (GLM), gas bubble, electric submersible pump (ESP).



Современный и стильный салон, простор с большой высотой потолка, ровный пол и отличные летные характеристики.

Откройте для себя Cessna Citation Latitude — абсолютного лидера по продажам в сегменте самолетов среднеразмерной кабины.



ЗАО «ИстЮнион» – официальный представитель по продажам самолетов Cessna в России и СНГ  
+7 (495) 269-02-10  
reception@eastunion.ru

# 2021 – ГОД НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ



## Катализатор



## для высоколинейного ПЭ

Ученые новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения (НИОХ СО) РАН и института химии китайской АН разработали тип катализаторов для получения высоколинейного полиэтилена. Материал может применяться для трубопроводной транспортировки нефти и газа. Эти катализаторы основаны на дихлориде кобальта, демонстрируют высокую активность, позволяют получать высоколинейный полиэтилен как с узким, так и с широким молекулярно-массовым распределением, благодаря чему можно оптимизировать условия переработки полимера и механические свойства изделий. Новое семейство катализаторов позволяет получать высоколинейный ПЭ с молекулярной массой в диапазоне 39–65 кДа с узким и 10–72 кДа с широким молекулярно-массовым распределением и высокой температурой плавления.



## Повышение нефтеотдачи по-новому

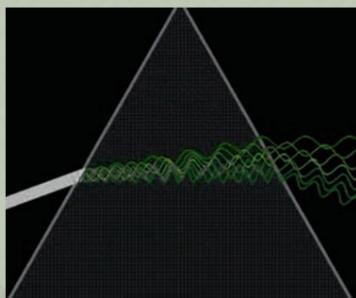
**Ученые научного центра «РАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ ЗАПАСОВ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПЛАНЕТЫ» для ввода в действие простаивающих скважин предлагают использовать термогазохимическую технологию.**

Она заключается в том, что путем выделения на месте особо горячих газов и кислоты пласты обеспечиваются постоянной проводимостью. Разработчики предлагают закачивать селитру и нитрит натрия. При правильном подборе катализатора, в процессе реакции образуется диоксид азота, который, растворившись в воде, дает кислоту. Разработка помогает снизить производственные риски, такие как ухудшение структуры запасов нефти и возрастание доли запасов в слабопроницаемых коллекторах. Чтобы понять геометрию и распространение трещин, влияние термогазохимического метода было изучено на образцах керны, которые сканировались с помощью 4D-томографии. Эксперименты подтвердили образование новых трещин и расширение существующих. Технология может быть использована в оптимизации добычи высоковязкой нефти.



## «Фотонный крючок»

Ученые томского политехнического университета вместе с коллегами из Великобритании и Тайваня предложили новый способ получения «фотонного крючка» – нового типа искусственного искривленного луча.



Предложенный способ проще ранее известного. Такой «крючок» может использоваться, например, в микроскопии для получения изображений в сверхразрешении и для манипулирования наночастицами.

Новый способ позволяет получать «крючок» с помощью двух микроразмерных стержней простой прямоугольной формы, лежащих параллельно. Их можно легко сделать из широкого спектра диэлектрических материалов – стекла или тефлона. Новым способом «фотонный крючок» формируется так: электромагнитная волна «распадается» на две части, одна проходит через стержни, а вторая между ними. На выходе волны «сливаются», и итоговый пучок искривляется. Изменяя расстояние между двумя стержнями и показатели их преломления, можно управлять формой «крючка» и степенью его кривизны. Получить его можно в газовой или жидкой среде, что влияет на характеристики получаемого «крючка».



Химики СПбГУ открыли соединение,

## способное «включаться» под действием лазера

Ученые из СПбГУ вместе с исследователями из Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН и научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН разработали органическое соединение, биологическая активность которого увеличивается под влиянием лазера. Химики разработали новый фосфонат, способный под действием света управляемо «включаться», то есть увеличивать свою биологическую активность. Под воздействием лазера часть молекулы вещества поворачивается, меняя таким образом форму и строение всей молекулы в пространстве, что приводит к усилению биологических свойств. Направленный пучок лазера с длиной волны 266 или 325 нанометров изменяет спектр поглощения и усиливает биологическую активность вещества. Основная заслуга ученых в том, что они впервые обнаружили такую реакцию фосфонатов на оптическое излучение.



## Подземное облагораживание высоковязкой нефти

**В КФУ провели физическое моделирование каталитического акватермолиза высоковязкой нефти ашальчинского месторождения** в присутствии донора водорода смеси нефтерастворимых таллатов железа и кобальта при различной температуре и времени воздействия. Ученые разработали биметаллический катализатор, позволяющий оперативно осуществлять подземное облагораживание нефти, не исключая морские условия и удаленные регионы. Катализатор создан на основе переходных металлов – железа никеля, железа кобальта и железа меди – и позволяет заменить полноценный каталитический реактор. Катализатор снижает содержание тяжелых углеводородов и увеличивает количество легких, что приводит к снижению вязкости нефти.



## Экспресс-тест для обнаружения нефтеразливов



Ученые из РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина и МГУ им. М.В. Ломоносова разработали материал для обнаружения разливов нефти. Биокompозитный материал с индикативными свойствами БКМ-И объединяет несколько функций: контроль содержания УВ в воде в режиме реального времени, две стадии (сорбционную и микробиологическую) очистки водоема и сточных вод предприятий нефтехимии. БКМ-И – своеобразная подложка из полимерного материала-сорбента, пропитанная индикаторными нитями. Это полимерная матрица с инкорпорированными растительными структурами и иммобилизованными ассоциациями углеводородокисляющих микроорганизмов.

На поверхности БКМ-И есть индикаторные зоны для различных углеводородов: нити, пропитанные хромогенными реагентами, закрепленные на полимерной матрице БКМ параллельными рядами. Использование нескольких индивидуальных нитей, избирательно растворимых в разных углеводородах, но нерастворимых в воде, обеспечивает идентификацию различных классов углеводородов в рамках одного экспресс-теста.



## ДЕСЯТЬ СТРАН С КРУПНЕЙШИМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ В МИРЕ



Согласно данным, собранным саудовской газетой Al-Eqtisadiya, возглавляет список стран с самыми большими доказанными запасами нефти Венесуэла (303,6 млрд баррелей). В первую десятку также вошли Саудовская Аравия (267,1 млрд баррелей), Иран (208,6 млрд баррелей, или 13,5% от общемировых запасов) и Ирак (145 млрд баррелей, что составляет 9,4% от мировых запасов). ОАЭ обогнали Кувейт и стали четвертыми по величине запасов нефти в мире. Доказанные запасы нефти в ОАЭ составляют 107 млрд баррелей (6,2% от мировых запасов), а Кувейта – 101,5 млрд баррелей (6,6% от общемировых запасов).

Россия заняла седьмое место с доказанными запасами нефти в 80 млрд баррелей, что составляет 5,2% от мировых запасов. Далее расположилась Ливия с 48,4 млрд баррелей (3,1% от общемировых запасов). На девятом месте – США. Они обладают запасами нефти в 44,5 млрд баррелей, что составляет 2,9% от общемировых запасов.

Десятку замыкает Нигерия с запасами нефти в 36,9 млрд баррелей, или 2,4% от общемировых запасов. Следует отметить, что рейтинг ОПЕК не учитывает запасы сланцевой нефти.

## ПОЧЕМУ РОССИЯ НЕ ОТКРЫВАЕТ ВЕНТИЛИ?

### ADVANCE

Д. Марьянович

Европа погружается во все более тяжелый энергетический кризис и продолжает искать виновных. 35% газа Европа импортирует из России. Эта цифра уже сама по себе вызывает у Европы беспокойство, так как все понимают, что Россия, если отношения с ней полностью расстроятся, может «закрыть вентили», и в таком случае Европа элементарно замерзнет. Этого не случится, поскольку в то же время «съежились» бы и российские доходы, которые очень зависят от экспорта газа. Но это не означает, что Россия не может параллельно с существующими коммерческими условиями предъявлять требования,



которые могут варьироваться от финансовых до геополитических. В этом году Россия поставила на 15% газа больше, чем в прошлом году. Проблема в том, что в этом

году Европе требуется намного больше газа, хотя Россия несколько не виновата в этой ситуации. Понятно, что с точки зрения Европы эту проблему можно легко решить, если бы Россия согласилась увеличить поставки. Тогда кризис закончился бы. Но почему Россия этого не делает?

## С ВЫБРОСАМИ МЕТАНА НУЖНО БОРЬСЯ ВО ВСЕМ МИРЕ, А НЕ ТОЛЬКО В РОССИИ

### The Washington Post

Стивен Мафсон

Утром 4 июня этого года подземная газовая труба, проложенная по древней земле Татарии, дала течь. Раньше даже столь значительная утечка газа осталась бы незамеченной.



Но примерно в 800 км от поверхности Земли в этот момент ситуацию мониторил спутник Европейского космического агентства – Copernicus Sentinel 5P, который следит за появлением выбросов метана и других газов. Спутник сообщил о растекании облака газа над поверхностью. Были оповещены ремонтные бригады Газпрома, которые устранили прорывы в трубе, через которые в атмосферу утекало огромное количество метана. В почве над проходившим под землей газопроводом образовался огромный провал размером с половину футбольного поля. Сегодня вторым по величине производителем природного газа является Россия. Учитывая быстро развивающуюся нефтегазовую отрасль России, эксперты считают важным убедить президента В. Путина перекрыть протекающие трубопроводы своей страны и отказаться от планов по увеличению экспорта природного газа. ●

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

### Минприроды РФ вынуждает Роснефть и Газпром заняться геологоразведкой. Другие не хотят?

В середине ноября 2011 г. Минприроды РФ предлагает включить в перечень участков недр федерального значения ряд участков в Якутии и на шельфе Охотского моря.



Ведомство предоставило права пользования этими участками недр с целью геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья по совмещенной лицензии на шельфе Охотского моря Роснефти, а якутские участки – Газпрому.

### • Комментарий Neftegaz.RU

Среди новых регионов наибольший интерес у недропользователей вызывают Ямал, Таймыр и Якутия. По углеводородным участкам недр в ЯНАО в 2021 г. уже прошел ряд крупных аукционов: по Арктическому и Нейтинскому месторождениям (выиграл НОВАТЭК, заплатив 13,2 млрд руб.), Северо-Кустарниковому (Роснефть, 17,6 млрд руб.), Восточно-Малыгинскому (Газпром, 12,9 млрд руб.) и Восточно-Харасавэйскому участкам недр (тоже Газпром, 4,2 млрд руб.).

Сегодня большая часть перспективных на открытие крупных участков шельфа уже лицензирована.

Роснедра рассматривают механизмы государственно-частного партнерства, чтобы допустить недропользователей и сервисные компании к региональным работам, в т.ч. в партнерстве с Росгеологией.

### УП–УП с севера УрФО перебрался на объекты малой энергетики Челябинской области

В ноябре 2011 г. специалисты Корпорация «Урал Промышленный – Урал Полярный» провели рабочее совещание с представителями Минпромприроды и Минстроя Челябинской области, в ходе которого были достигнуты договоренности об участии Корпорации в модернизации котельных на территории региона. Задача УПУПа – обеспечить модернизацию котельных и оснащение их современным оборудованием.

### • Комментарий Neftegaz.RU

18 октября 2021 г. президент РФ утвердил ряд поручений, среди которых вопрос об ускорении реализации проекта по строительству СШХ, для реализации которого в свое время была создана Корпорация «Урал Промышленный – Урал Полярный».



Средства на СШХ регулярно выделялись из бюджета. Но в 2019 г. зампред правительства РФ М. Акимов заявил, что «проект привлекательный, но пока груза

не видим». В августе 2021 г. срок ввода в эксплуатацию был увеличен на 7 лет; а стоимость – до 0,5 трлн руб.

### В. Путин подписал распоряжение о финансировании строительства нефтепровода Заполярье – Пурпе

18 ноября 2011 г. Транснефть узнала, что будет финансировать строительство нефтепровода Заполярье – Пурпе за счет собственных средств.



Транснефть заранее договорилась по заполнению трубопровода с ТНК-ВР, ЛУКОЙЛом, Газпромом, СеверЭнергией и, возможно, Роснефтью. ВИНКи обеспечат загрузку нефтепровода до 50 млн т/год нефти при выходе на проектную мощность.

### • Комментарий Neftegaz.RU

12 апреля 2016 г. Транснефть начала заполнять МНП Заполярье – Пурпе нефтью, а 18 января 2017 г. президент РФ В. Путин в режиме видеомоста дал старт МНП Заполярье – Пурпе, Куюмба – Тайшет и Бованенково – Ухта-2. Н. Токарев отметил, что за счет проекта МНП Заполярье – Пурпе нефтяники получили возможность доступа к богатейшей нефтеносной провинции. Создано 1,5 тыс. рабочих мест, в бюджеты всех уровней будет отчисляться 3 млрд руб./год налогов.

Система МНП Заполярье – Пурпе – Самотлор является самой северной нефтяной магистралью в России. ●



Стенд Правительства Москвы на РЭН-2021



РЭН-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



Стенд КТК на выставке Нефтегаз-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



Экспозиция на выставке Нефтегаз-2021



Участники РЭН-2021



Участник РЭН-2021



Стенд НОВАТЭК на РЭН-2021



ПМГФ-2021



РЭН-2021



Участник РЭН-2021



Стенд компании СПГ на выставке Нефтегаз-2021



Участники РЭН-2021



Выставка Цифровой завод 2021



ПМГФ-2021

Участники конференции Нефтегазопереработка-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



Участники РЭН-2021



Участник РЭН-2021



Стенд компании Волгоднефтемаш на выставке Нефтегаз-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021

## ТАНКЕР «ЭКОМАР»

### 1. Оборудование и инструмент в НГК

#### 1.4. Оборудование для использования газа и нефтепродуктов

##### 1.4.1. Оборудование для нефтебаз и АЗС



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Тип судна	нефтеналивное
Позывной сигнал	УЕВЖ (UEVV)
Идентификационный номер ИМО (IMO №)	7804948
Порт регистрации	Большой порт Санкт-Петербург
Место и время постройки	Голландия, 1979
Главный материал корпуса	сталь
Число и мощность машин	1 x 1650 кВт
Главные размеры по Меритальному свидетельству, выданному Российским Морским Регистром судоходства от 08.05.2009 г. за № 09.04768.120:	
Длина	67,48 м
ширина	12,00 м
высота борта	6,00 м
емкость валовая	1571 рег.т.
емкость чистая	471 рег.т.
номер и дата регистрации в Государственном судовом реестре России	30-3423 от 05.10.2010 г.
район плавания в соответствии с классификационными документами	LC, NLL: ограниченный R2 – плавание с высотой волны 3% обеспеченности 7,0 м. и с максимально допустимым удалением от места убежища 100 миль и с допустимым расстоянием между местами убежищ не более 200 миль; SEC: A1; NOSG: без ограничений
класс	KM Ice3 R2 AUT2 Oil tanker (>60°C) (ESP)
водоизмещение в полном грузу	2957 т
грузоподъемность чистая тяжелого топлива	1386,72 м
дизельного топлива	+ 195,66 м
Дедвейт	1965 т
осадка в балласте / полном грузу (м.)	4,2 / 5,3

скорость хода в балласте / полном грузу / эксплуатационная (узл.)	11 / 10,5 / 11
флаг судна	Российская Федерация
расходуемое топливо / норма расхода топлива	дизельное топливо, ТМС (MGO)
ДГ №1 – 8NVD 26A-2 – 66800 г/час, нагрузка 100%. ДГ №2 – 6NVD 26A-2 – 49700 г/час, нагрузка 100%. АДГ 4VD 21/15-2 – 21600 г/час, нагрузка 100%. ГД 6M453 АК – 262 кг/час, нагрузка 100%. Грузовой котел №1 WWB-06 – 40 кг/час, Грузовой котел №2 WWB-06 – 40 кг/час, Вспомогательный котел 85DNH390 – 9 кг/час. Итого: 467,5 кг/час (без АДГ)	
система подогрева груза	судно оснащено системой подогрева груза, способной поддерживать груз при температуре, достаточной для проведения грузовых, бункеровочных операций и для перевозки груза в соответствии с условиями настоящего чартера
Судно оборудовано следующими грузовыми системами: топливными насосами для проведения грузовых и бункеровочных операций: <b>Тяжелое топливо:</b> № 1 – Allweiler 2Д170/68Н04S1-03; производительность: 120 м³/час; № 2 Allweiler 2Д170/68 Н04S1-03; производительность: 120 м³/час; <b>Дизельное топливо:</b> 3В 63/25-50/4Б, производительность: 50 м³/час. количество автономных грузовых систем: <b>тяжелого топлива – 1,</b> <b>дизельного топлива – 1</b> объем грузовых танков, оборудованных подогревом: объем 100% – 1457,4 куб. м	

## МОРСКОЙ ТАНКЕР

### 1. Оборудование и инструмент в НГК

#### 1.4. Оборудование для использования газа и нефтепродуктов

##### 1.4.1. Оборудование для нефтебаз и АЗС

Судно спроектировано на класс Российского Морского Регистра судоходства КМ ЛУ1 I A1 (нефтеналивное).

Назначение – перевозка наливом нефти и нефтепродуктов без ограничения по температуре вспышки с загрузкой нескольких сортов груза. Танки оборудованы палубными обогревателями и системой мойки горячей водой по замкнутому циклу с обеспечением каскадного отстоя и очистки моечной воды, дегазацией и вентиляцией. Предусмотрен контроль грузобалластных операций и состояния груза в танках.

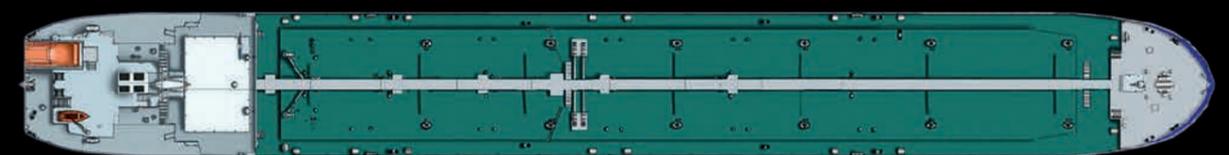
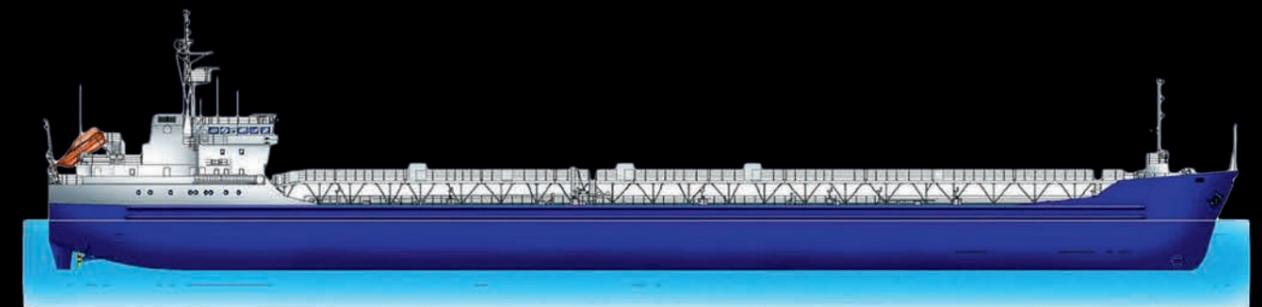
Судно имеет двойные борта и второе дно. Грузовые погружные электроприводные насосы фирмы "Marflex" обеспечивают производительность при выгрузке 1000 м³/ч при напоре 100 м вод. ст.

Газоотводная (высокоскоростные клапаны) и грузовая системы обеспечивают закрытый налив

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Дедвейт, т	9200
Грузоподъемность (при $\gamma = 1,0 \text{ т/м}^3$ ), т	9000
Длина наибольшая, м	141
Ширина наибольшая, м	16,8
Осадка по грузовой марке, м	5,6
Скорость спецификационная, уз	11
Дальность плавания, миль	3500
Автономность, сутки	20
Высота от ОП до несъемных частей надстроек, м	16,8
Главный двигатель	8L20 "Вяртсиля"
Мощность максимальная длительная, кВт	2x1320
Экипаж, чел	11

интенсивностью до 1500 м³/ч. Мощность электростанции 970 кВт. Предусмотрена круглогодичная система кондиционирования. Навигационные системы и

радиосвязь отвечают требованиям ГМССБ. Танкер отвечает требованиям международных конвенций СОЛАС, МарПол и других действующих конвенций. ●



# АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «АРКТИКА» ПРОЕКТА 22220

## 2. Сервис, услуги и технологии в НГК

### 2.2.5. Речной (морской транспорт)

#### 2.2.5.1. Ледоколы



Ледоколы класса Арктика – основа российского атомного ледокольного флота: 6 из 10 атомных ледоколов относятся к классу Арктик.

Ледоколы этого класса имеют двойной корпус; толщина внешнего корпуса в местах ломки льда – 48 мм, в других местах – 25 мм. Между корпусами располагаются цистерны водного балласта, которые служат для изменения дифферента в сложных ледовых условиях. Некоторые суда покрыты специальным полимером для уменьшения трения. Ледоколы этого класса могут ломать лед, двигаясь как вперед, так и назад. Эти корабли спроектированы для работы в холодных арктических водах, что усложняет эксплуатацию ядерной установки в теплых морях, поэтому пересечение тропиков для работы у берегов Антарктиды в число их задач не входит. Для обеспечения корабля энергией достаточно только одного из двух реакторов корабля, но во время плавания задействованы оба (на менее, чем 50% мощности).

Все атомоходы класса «Арктика» могут нести на себе два вертолета, которые придаются им специально для сложных рейсов или туристических круизов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Проект	22220
Корабль	ЛК-60Я
Скорость на чистой воде	20,8 узлов
Скорость на постоянном ходе	2 узла
Экипаж	75 человек
Ледопробитость	до 3 м
Силовая установка	2 турбины по 27580 кВт
Мощность на валах	49000 кВт
Длина	136 м
Ширина	34 м
Высота борта	17,2 м
Осадка средняя	11 м
Водоизмещение	33,5 тонн
Автономное плавание	до года

В проект заложена возможность конверсии ледокола во вспомогательный боевой крейсер. Силовая установка ледокола «Арктика» проекта 22220 состоит из двух реакторов РИТМ-200 и дает мощность в 175 мВт при потреблении в сутки нескольких грамм топлива. Обеспечивает навигацию круглогодично.

На ледоколе предусмотрена многоуровневая защита активной зоны ядерной установки, состоящая из слоев бетона, стали и воды. Бортовой компьютер просчитывает последствия любой нештатной ситуации. На борту расположен кинотеатр, библиотека, два бассейна, сауна и бильярд. ●

# МНОГОЦЕЛЕВОЙ ТАНКЕР

## 1. Оборудование и инструмент в НГК

### 1.4. Оборудование для использования газа и нефтепродуктов

#### 1.4.1. Оборудование для нефтебаз и АЗС



Класс Российского Морского  
Регистра судоходства – КМ А1.

Тип	Нефтеналивное	Водолей
Назначение	перевозка до трех сортов нефтепродуктов	пресная вода
Грузоподъемность	1000 т.	1200 т.
Мощность главного двигателя	2 x 500 кВт	2 x 650 кВт

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Длина наибольшая, м	58,0
Ширина, м	12,0
Высота борта на миделе, м	5,6
Осадка, м	4,0
Скорость спецификационная, уз	11
Экипаж, чел	6
Дальность плавания, миль	3500
Автономность, суток	не менее 10
Двигатель	2 винто-рулевые колонки подъемного типа

Грузовая система выполнена автономной с применением погружных грузовых насосов. Размещение экипажа в одноместных каютах. Навигация, радиосвязь соответствует району эксплуатации и классу судна. ●

# ТАНКЕР «ИТИЛЬ»

## СМЕШАННОГО (РЕКА / МОРЕ) ПЛАВАНИЯ

### ПРОЕКТ 15230

#### 1. Оборудование и инструмент в НГК

##### 1.4. Оборудование для использования газа и нефтепродуктов

##### 1.4.1. Оборудование для нефтебаз и АЗС



Судно спроектировано на класс Российского Морского Регистра судоходства КМ ЛУ2 II А1 (нефтеналивное).

Назначение – перевозка наливом нефти и нефтепродуктов без ограничения по температуре вспышки с загрузкой двух и более сортов груза. Танки оборудованы змеевиками обогрева и системой мойки горячей водой по замкнутому циклу с обеспечением каскадного отстоя и очистки моечной воды, дегазацией и вентиляцией. Предусмотрен контроль грузобалластных операций и состояния груза в танках.

Судно имеет двойные борта и второе дно. Грузовые погружные электроприводные насосы фирмы "Marflex" обеспечивают производительность при выгрузке 800 куб. м/ч при напоре 100 м вод. ст.

Газоотводная (высокоскоростные клапаны) и грузовая системы обеспечивают закрытый налив интенсивностью до 1000 куб. м/ч. Мощность электростанции 650 кВт. Предусмотрена круглогодичная система кондиционирования.

Навигационные системы и радиосвязь отвечают требованиям ГМССБ. Танкер отвечает требованиям международных конвенций СОЛАС, МарПол и других действующих конвенций. ●

#### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Дедвейт (река/море), т	3910/5550
Грузоподъемность (река/море), т	3650/5100
Длина наибольшая, м	123,7
Ширина наибольшая, м	15,8
Осадка по грузовую марку (река/море), м	3,65/4,55
Скорость спецификационная, км/ч	20
Дальность плавания, км	7500
Автономность, сутки	20
Высота от ОП до несъемных частей надстроек, м	16,8
Главный двигатель	8L20 «Вяртсиля»
Мощность максимальная длительная, кВт	2x1320
Экипаж, чел	11

# АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

#### 1. Оборудование и инструмент в НГК

##### 4.3 Контрольно-измерительные приборы и аппаратура

##### 1.5.2.8 Геофизическая аппаратура



Аппаратурно-программный комплекс для выполнения электроразведочных работ методом сопротивлений, естественного поля, вызванной поляризации, диагностики трубопроводов, исследований электрохимзащиты и т.п. Это аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить электроразведку несколькими методами.

#### Особенности:

- Связь между генератором и измерителем по радиоканалу (запуск на начало и окончание генерации, установка настроек генератора – частоты и тока)
- Малый вес комплекта – около 1,1 кг
- Длительный срок автономной работы (до 5–7 дней)
- Пыле-влаго-ударозащищенность по классу IP-65
- Подогрев экрана (для работы при низких температурах)
- Пересчет dU в Rk
- Сохранение результатов в памяти прибора, с возможностью дальнейшей перекачки на ПК через USB-интерфейс в формате ПО «ЗОНД»
- Учет методики полевых работ – смотки – размотки, нумерации пикетов, размеров приемной и токовой линий, и др.
- Построение графиков зондирования на экране измерителя, как в ходе измерений, так и для архивных данных. ●

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Генератор:	
Выходное напряжение	до 200 В
Диапазон выходного тока	0,5 – 100 мА
Диапазон частот	0 – 2500 Гц
Запуск на генерацию ручной или по радиоканалу от измерителя	
Погрешность стабилизации	1%
Степень защиты	IP65
Диапазон рабочих температур	от -30 до +50°C
Габариты	160 * 80 * 55 мм
Масса	0,6 кг
Измеритель:	
Диапазон частот	0 – 2500 Гц
Диапазон измерений	-5 – +5 В
Разрядность	АЦП 24 бит
Объем памяти	2 Мб
Интерфейс связи с ПК	USB
Синхронизация с генератором	Радиоканал 433 МГц
Степень защиты	IP65
Диапазон рабочих температур	от -30 до +50°C
Габариты	180 * 130 * 35 мм
Масса	0,55 кг



**А. Новак**

Подготовлен комплекс мер, которые должны дать возможность привлечь инвестиции в Арктическую зону



**В. Путин**

Проблема не в нас, проблема в европейцах *(об энергетическом кризисе – ред.)*



**Ю. Шафраник**

В ближайшей и среднесрочной перспективе российский уголь не уступит своих рыночных позиций



**Б. Луни**

Не всегда светит солнце, не всегда дует ветер, и возникает вопрос, насколько надежны возобновляемые источники энергии



**П. Пуянне**

Мы столкнулись не с европейским газовым кризисом. Это связано с энергетическим переходом – переход от угля к газу



**М. Орешкин**

Главное – делать все, что мы должны осуществить со своей стороны *(о вхождении России в топ-5 экономик мира – ред.)*



**С. Абэ**

«Умом Россию не понять, аршином общим не измерить: у ней особенная стать – в Россию можно только верить». То есть только так с Россией и можно быть вместе



**И. Сечин**

Энергопереход должен быть синхронизирован с обеспечением энергоресурсами, надежными поставками материалов, развитием технологий и адаптацией потребительского поведения



**Д. Вудс**

Необходимо обеспечивать стабильность рынка. Если мы добьемся этого, нужно продолжать инвестировать в добычу, в производство



# Тендерный КОНСАЛТИНГ

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



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

**+7 495 987 18 50** (многоканальный)

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



# MORWENNA

## Shipping Company

ВЕДУЩАЯ СУДОХОДНАЯ КОМПАНИЯ ПО ТРАНСПОРТИРОВКЕ  
НЕГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

### ПОЛНЫЙ КОМПЛЕКС УСЛУГ

- ВСЕ ВИДЫ БУКСИРОВОК
- МЕНЕДЖМЕНТ ФЛОТА
- УСЛУГИ АГЕНТИРОВАНИЯ НА ВВП РФ
- БОЛЕЕ 50 СУДОВ В УПРАВЛЕНИИ
- КОМПЛЕКС УСЛУГ ПО НЕГАБАРИТНЫМ БУКСИРОВКАМ



Общество с ограниченной ответственностью  
«Судоходная компания Морвенна»  
Россия, 125212, Москва, Головинское шоссе 5,  
БЦ «Водный», оф. 20018

+7 (495) 151-85-20  
[chartering@mwship.com](mailto:chartering@mwship.com)