



МОРСКАЯ НАУКА И ТЕХНИКА

MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ - СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК №19

При поддержке Департамента судостроительной промышленности
и морской техники Министерства промышленности и торговли РФ



**БЕЗОПАСНОСТЬ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ
В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ**

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

НТЦ НЕФТЕГАЗДИАГНОСТИКА ГРУППА КОМПАНИЙ



НА ЗЕМЛЕ • ПОД ЗЕМЛЕЙ • ПОД ВОДОЙ

ВНУТРИТРУБНАЯ
ДИАГНОСТИКА
НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

РЕМОНТ МОРСКИХ
ПОДВОДНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ

ПОДВОДНО -
ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Г. МОСКВА, УЛ. НИЖНЯЯ КРАСОСЕЛЬСКАЯ, Д.40/12, К.4Б, ОФ.201

ТЕЛ./ФАКС: +7 (495) 781-59-17, ТЕЛЕФОН: +7 (495) 781-59-18

EMAIL: INFO@NTCNGD.COM

[HTTPS://NTCNGD.COM/](https://ntcngd.com/)



ПРИВЕТСТВУЮ УЧАСТНИКОВ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «МОРСКАЯ НАУКА И ТЕХНИКА. БЕЗОПАСНОСТЬ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ»

Технологический суверенитет России, рациональное использование ресурсов Мирового океана, развитие отечественных морских и речных коммуникаций, является залогом поступательного социально-экономического развития нашей страны, обеспечения ее лидирующих позиций в мировой экономике.

При этом особое значение имеют вопросы безопасного функционирования трубопроводов и других объектов морской подводной инфраструктуры, их качественное строительство, обслуживание и ремонт.

Полагаю, что профессиональный диалог и обмен опытом среди специалистов, задействованных в данной сфере, будет способствовать принятию дополнительных мер, направленных на развитие морской науки и техники, совершенствование производственной кооперации в нефтегазовом секторе, разработку и внедрение новых решений в области эксплуатации подводных объектов.

Желаю участникам научно-технической конференции плодотворной работы и интересного общения. Всего вам самого доброго!

Н.Патрушев, помощник Президента России, председатель Морской коллегии

Издаёт:

«Морское информационное агентство» при информационном участии Межведомственного экспертного совета по безопасности морских подводных трубопроводов и объектов, Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России и Морской коллегии Российской Федерации.

Учредитель:

НТЦ «НЕФТЕГАЗДИАГНОСТИКА»
Пер. № ПИ № ФС77-84232 от 22 ноября 2022 г.

Адрес редакции:

105066, г. Москва,
ул. Нижняя Красносельская, д.40/12

Тел./факс: +7 (495) 781-59-17

+7 (951) 528-94-78

+7 (903) 759-95-65

morinform@marineorg.ru

www.marine.org.ru

https://expertmore.ru/

ШЕФ-РЕДАКТОР

АНДРЕЙ ПАЩЕНКО

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

ОЛЕСЯ КАМШУКОВА

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР

АЛЕКСАНДРА ГУЖОВА

РЕДАКТОР ОТ СЕКРЕТАРИАТА МЭС

ВАЛЕРИЯ БУДРИНА

РЕДАКТОР ПО ДИЗАЙНУ

РОСИТА РУИС

Материалы и иллюстрации:

Виктор Лещенко, Евгений Аношин, Анатолий Лепихин, Евгения Карпова, Артур Толузаков, Тимофей Лещенко, Андрей Маевский, Анна Бушинская, Дмитрий Вавилов, Наталья Фетисова, Сергей Васильев, Ольга Куприянец, Александр Тамиров, Мария Юрьева, Денис Воейков, Дмитрий Сребный и другие.

Особая благодарность

за организацию в издании:

Н.А. Махутову, В.В. Лещенко, И.В. Помылеву, А.М. Лепихину, Г.И. Шмаль, С.А. Тимашеву, Ю.А. Харченко.

Особая благодарность за активное

участие в издании:

Лещенко В.В., Помылеву И.В., Махутову Н.А., Жилкиной Е.А., Соболевскому А.А., Жулину О.К., Будриной В.И.

Благодарим за предоставление

информации из открытых

источников: kremlin.ru, marine.org.ru, government.ru, https://ntcngd.com/, https://minpromtorg.gov.ru/ria.ru, tass.ru, iz.ru, kchf.ru, mintrans.ru, morflot.ru, seaport.ru, shipbuilding.ru, mil.ru.

Отпечатано в типографии:

Общество с ограниченной ответственностью «Типография «Печатных Дел Мастер» г. Москва, 1-й Грайворонский пр-д, д.2, стр.10

Тираж 1000 экземпляров, Цена договорная

Позиция редакции может не совпадать с мнением авторов.

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА:



3

20

12

30

3 ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО – ПАТРУШЕВ Н.П.

МОРСКАЯ КОЛЛЕГИЯ РФ

6 В МОСКВЕ СОСТОЯЛОСЬ ЗАСЕДАНИЕ СОВЕТА ПО РАЗВИТИЮ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

10 ЗАЩИТИТЬ ИНТЕРЕСЫ РОССИИ В АРКТИКЕ

12 МОЩНОСТИ ВЕРФЕЙ «КАЛАШНИКОВА»: ОТ УНИКАЛЬНЫХ КРАБОЛОВОВ ДО АРКТИЧЕСКОЙ «ХАСКИ»

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

14 МОРСКАЯ ПОДВОДНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

МЭС

18 ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО - МАХУТОВ Н.А.

19 ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО - ШМАЛЬ Г.И.

20 НАУЧНАЯ БАЗА КОМПЛЕКСНОГО ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ

30 «НЕОБХОДИМО СОЗДАВАТЬ ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ, ДЕЛАТЬ ГОСТЫ, ТРЕБОВАНИЯ»

34 ПРИМЕНЕНИЕ НПА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОДВОДНЫХ РАБОТ ПО ПОИСКУ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

38 ВОЗМОЖНОСТИ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

42 ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДВОДНО - ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

54 ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ - НЕИЗБЕЖНАЯ КОМПОНЕНТА СУВЕРЕННЫХ РИСК- ОРИЕНТИРОВАННЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РОССИИ



58 ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО И РАДИООБОРУДОВАНИЯ

62 СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СУДНО «НЕПТУН»

63 «РИАТОМ» - НАДЕЖНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

64 «СПЕЦСУДОПРЕКТ» - ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

68 «ОКБ НЕФТЕГАЗДИАГНОСТИКА» - РАЗРАБОТКА СНАРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДВОДНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ: КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ДОСТИЖЕНИЯ КОМПАНИИ

70 «НАУЧНО -ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «САМАРА» - КОРРОЗИЯ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ

76 «АКОРД-ТЕХНОЛОДЖИ» - ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ТМГ

80 ПАО «ГАЗПРОМ» - ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

86 «КОНЦЕРН «ОКЕАНПРИБОР», «РКЦ «ПРОГРЕСС» - ФИЛИАЛ ОКБ «СПЕКТР» - МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ГОД ЗАЩИТНИКА ОТЕЧЕСТВА

92 ГЕРОЙ РОССИИ - ЮРИЙ НИМЧЕНКО

94 ПОЛЯРНЫЕ ЛЕТЧИКИ - ПЕРВЫЕ ГЕРОИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

97 ПОКАЗ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ФИЛЬМА «АДМИРАЛ УШАКОВ - ВОСХОЖДЕНИЕ» В СЛЕДСТВЕННОМ КОМИТЕТЕ РОССИИ

98 АДМИРАЛЬСКИЙ ПРИЕМ В ЧЕСТЬ 280-ЛЕТИЯ АДМИРАЛА ФЕОДОРА УШАКОВА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА:

1. Председатель коллегии - член корреспондент РАН, профессор, главный научный сотрудник НИИ МАШ, председатель комиссии РАН по техногенной безопасности – Махутов Николай Андреевич.
2. Заместитель председателя коллегии – кандидат технических наук, генеральный директор НТЦ «Нефтегаздиагностика», председатель правления союза «РИСКОМ» – Лещенко Виктор Викторович.
3. Доктор технических наук, технический секретарь Межведомственного экспертного совета по безопасности МПТ – Лепихин Анатолий Михайлович.
4. Профессор, доктор технических наук, ведущий эксперт МЭС – Харченко Юрий Алексеевич.
5. Профессор, кандидат технических наук, старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного морского технического университета – Марков Сергей Петрович.
6. Доктор технических наук, профессор, заведующий отделом НИИ МАШ РАН – Матвиенко Юрий Григорьевич.
7. Кандидат технических наук, Почетный председатель Севастопольского морского собрания – Кот Виктор Павлович.
8. Научный руководитель, главный научный сотрудник. Заслуженный деятель науки РФ, профессор, д.т.н., лауреат Нобелевской премии – Тимашев Святослав Анатольевич.





В МОСКВЕ СОСТОЯЛОСЬ ЗАСЕДАНИЕ СОВЕТА ПО РАЗВИТИЮ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрены вопросы, связанные с развитием внутренних водных путей и повышением эффективности работы внутреннего водного транспорта.

Заседание Совета провели председатель Морской коллегии Российской Федерации, помощник Президента России Николай Патрушев, а также председатель Совета по развитию и обеспечению морской деятельности, начальник Управления Президента по вопросам национальной морской политики Сергей Вахруков. В работе совещательного органа приняли участие главы Минтранса, Минэнерго, Минпромторга, Минприроды, Пограничной службы ФСБ, Росморречфлота, ФМБА, Росрыболовства, Росгидромета, Российской палаты судоходства, представители Минобороны и Минобрнауки, высшие должностные лица ряда субъектов федерации, руководители организаций.

Николай Патрушев открыл заседание:

«Сегодня мы проводим очередное заседание Совета Морской коллегии по развитию и обеспечению морской деятельности Российской Федерации. Рассмотрим вопрос о развитии внутренних водных пу-

тей и повышения эффективности работы внутреннего водного транспорта.

Водные ресурсы, внутренние водные пути и водный транспорт являются не только одними из ключевых элементов транспортной системы России, но и создают дополнительные возможности для различных отраслей экономики, внося существенный вклад в социально-экономическое развитие страны и обеспечение безопасности.

От их состояния и эффективного использования во многом зависит обороноспособность страны, решение военно-транспортных задач, реализация транспортного и транзитного потенциала России, обеспечение связности территорий, развитие гидроэнергетики, мелиорации, водоснабжения населённых пунктов, предотвращение паводков.

Очень важную роль внутренние водные пути могут сыграть в развитии международных торговых связей, обеспечении эффективного функционирова-



ния международных транспортных коридоров и национальной транспортной магистрали – Северный морской путь.

На фоне продолжающегося санкционного давления на Россию и переориентации торговых потоков в восточном направлении повышается нагрузка на иные виды транспорта. И именно речной и морской транспорт должны сбалансировать чрезмерно возросшую нагрузку на железнодорожный и автомобильный транспорт.

В настоящее время потенциал внутренних водных путей и водного транспорта используется недостаточно эффективно, а их эксплуатация становится не безопасной.

В первую очередь, это касается технического состояния речного флота, средний возраст которого превышает 30 лет, а речных танкеров – 49 лет, что уже привело к серьёзным авариям.

Но самое главное, темпы выбытия речных судов превышают темпы их строительства. Наш стратегический актив, по сути, превращается в источник системных рисков.

В этой связи необходимо обеспечить обновление парка судов речного флота, в том числе судов класса «река-море».

Требуется также принять меры по обеспечению гарантированных глубин, в том числе за счёт расчистки судоходных маршрутов от затонувших объектов, приведению в нормативное состояние судоходных гидротехнических сооружений, провести комплексную

модернизацию портовой инфраструктуры и подъездных путей.

Это крайне важно в связи с тем, что по протяжённости внутренние водные пути более чем в полтора раза превышают федеральные автомобильные дороги. Порядка 80 процентов водных путей являются безальтернативными для возможности доставки грузов и пассажиров, обеспечивая, в том числе и северный завоз.

Только комплексное использование имеющихся водных ресурсов и водных путей будет способствовать достижению национальных целей развития России».

Обсуждена реализация федерального проекта «Развитие инфраструктуры опорной сети внутренних водных путей» национального проекта «Эффективная транспортная система». Рассмотрены предложения, направленные на создание равных конкурентных условий с наземными видами транспорта, меры обеспечения финансирования текущего содержания внутренних водных путей. Отдельное внимание уделено судоходным гидротехническим сооружениям, реализации мероприятий по устранению инфраструктурных ограничений на внутренних водных путях.

Предложены меры по обеспечению гарантированных глубин, в том числе за счёт расчистки судоходных маршрутов от затонувших объектов, приведению в нормативное состояние судоходных гидротехнических сооружений, а также мероприятия, направленные на комплексную модернизацию портовой инфраструктуры и подъездных путей.



На заседание Совета выступил начальник Управления Президента по вопросам национальной морской политики Сергей Вахруков:

«Развитие внутренних водных путей и водного транспорта должно стать одним из ключевых инструментов достижения национальных целей развития страны, обеспечения связанности огромной территории России.»

Внутренние водные пути общей протяженностью свыше 101 тысячи километров расположены на территории 60 субъектов Российской Федерации. На них эксплуатируется 741 судходное гидротехническое сооружение.

За последние четыре года были предприняты меры по улучшению условий судоходства. Устранены лимитирующие участки протяженностью почти 10 тысяч километров. Благодаря этим мерам, увеличена пропускная способность внутренних водных путей на 12 миллионов тонн.

Постоянное финансирование содержания внутренних водных путей, в том числе поддержания гарантированных глубин, проведения дноуглубительных работ, затянувшиеся сроки ликвидации лимитирующих участков, привели к потере значительной части грузовой базы и снижению объемов перевозок.

Так, в 1980 году по рекам было перевезено почти 500 миллионов тонн грузов, а в 2024 году – только 90 миллионов тонн. В 10 раз сократились пассажирские перевозки.

Отток грузовой базы привёл к деградации речных портов, их инфраструктуры.

Кризисная ситуация складывается с обеспечением безопасности судходных гидротехнических сооружений, большая часть которых имеет износ свыше 80 %. В соответствии с декларациями безопасности только половина судходных гидротехнических сооружений находится в работоспособном техническом состоянии.

При этом комплексные гидроузлы также решают вопросы выработки электроэнергии, водоснабжения, орошения, поддержания напорного фронта водохранилищ, защиты территории и населения от техногенных катастроф и паводков.

Последствия невнимания к решению накопившихся проблем ярко проявились весной и летом прошлого года. Были подтоплены тысячи жилых домов. Суммарный ущерб от наводнения составил десятки миллиардов рублей.

Неудовлетворительное состояние внутренних водных путей снижает рентабельность перевозок внутренним водным транспортом, что негативно сказывается на состоянии речного флота.

В настоящее время на реке эксплуатируется более пяти тысяч грузовых и почти три тысячи пассажирских судов. За последние несколько лет численность пассажирских и грузопассажирских судов увеличилась более чем на двести судов.

Несмотря на это, в целом темпы выбытия речного флота превышают темпы его пополнения. Средний возраст судов сейчас составляет около 40 лет.

В этих условиях происходит отток высококвалифицированных специалистов, особенно из числа командного и рядового состава экипажей судов технического флота, гидротехников, а также работников по обслуживанию специального оборудования на судходных гидротехнических сооружениях.

Требуется изменение подходов к развитию внутренних водных путей и водного транспорта. В первую очередь за счёт обеспечения комплексного использования внутренних водных ресурсов.

Необходимо объединить и скоординировать интересы транспортной отрасли, сельского хозяйства, энергетики, добычи ресурсов, водоснабжения населения и экономики жилищно-коммунального хозяйства, защиты населения от чрезвычайных ситуаций.

Как отметил Николай Платонович, необходимо комплексно, по-государственному, рассматривать вопросы использования водных ресурсов и внутренних водных путей.



Обеспечение взаимосвязанного развития судоходства, гидроэнергетики, системы орошения и мелиорации, освоения минерально-сырьевых ресурсов, защиты территорий и населения от чрезвычайных ситуаций должно также служить драйвером регионального развития.

Только при таком подходе будут созданы необходимые условия для эффективного использования потенциала внутренних водных ресурсов для развития экономики страны.

Многу озвучены некоторые ключевые проблемы и подходы к развитию водных путей и повышению эффективности работы внутреннего водного транспорта. Уверен, что выступающие члены совета обозначат и другие проблемы и предложат пути их решения».

Полагаю, что для достижения национальных целей развития в условиях сложной геополитической и экономической ситуации мы обязаны реализовывать

имеющие у нашей страны конкурентные преимущества и эффективно использовать водные объекты России.

Среди других тем затронута проблематика совершенствования механизмов государственной поддержки судостроения, а также серийного обновления грузового и пассажирского флота.

Отмечено, что развитие внутренних водных путей и водного транспорта должно стать одним из ключевых инструментов достижения национальных целей развития страны, обеспечения связанности огромной территории России.

Кроме того, подчеркнута необходимость взаимосвязанного развития судоходства, гидроэнергетики, системы орошения и мелиорации, освоения минерально-сырьевых ресурсов, защиты территорий и населения от чрезвычайных ситуаций в целях эффективного использования потенциала внутренних водных ресурсов для развития экономики страны.



ЗАЩИТИТЬ ИНТЕРЕСЫ РОССИИ В АРКТИКЕ



Помощник Президента РФ, председатель Морской коллегии Николай Патрушев.

О милитаризации Арктики.

— Попытки милитаризации Арктики уже давно стали частью западной геополитической повестки. Это прежде всего связано с нарастанием мировой конкуренции за природные ресурсы, что порождает глобальное экономическое противоборство и борьбу за новые транзитные маршруты. В связи с этим значимость богатейшего полярного региона будет только возрастать. К примеру, в Арктике располагаются такие запасы природных ресурсов, на фоне которых зачастую меркнут самые привлекательные месторождения в других регионах мира.

При этом Россия считает, что Арктика должна быть территорией мира, где многие государства могут совместно реализовывать экономические и научно-ис-

следовательские проекты, использовать транспортный потенциал северных морей.

Указом Президента Российской Федерации создается оргкомитет по подготовке и проведению празднования 500-летия начала российской истории освоения Северного морского пути. Николай Патрушев назначен его председателем.

— Юбилейная дата может стать хорошим поводом очередной раз обратить внимание на то, что Арктика неотделима от России. Идея морских переходов родилась в 1525 году, но еще задолго до этого времени по северным морям путешествовали поморы. В конце XVI века в устье Оби и Енисея появились первые русские поселения. А в начале XVIII века подробные исследования транс-



сы нынешнего Севморпути и арктического побережья совершила Великая Северная экспедиция.

В XIX веке был установлен постоянный контроль над этой трассой благодаря экспедициям Э.Толля, С.Макарова, Г.Седова, Б.Вилькицкого. Позднее в течение одной навигации весь путь с Запада на Восток прошли советские экспедиции О.Шмидта и В.Визе. Надо чтить подвиг русских исследователей, благодаря которому началось изучение и освоение Северного Ледовитого океана. Мы помним значимые открытия, которые совершаются в наше время. В летопись Арктики навсегда вписаны большие заслуги ученого-океанолога Героя Советского Союза и Героя Российской Федерации А.Чилингарова. В ознаменование такой важной даты необходимо чествовать людей, которые своим самоотверженным трудом и сегодня развивают Арктику.

Во все времена наша страна рассматривала северные земли и омываемые их моря в качестве составной части России, подкрепив свое право национальными законодательными актами и международными договорами. В настоящее время федеральные и региональные власти совместно с представителями науки, образования и бизнеса уделяют особое внимание реализации дополнительных мер по совершенствованию использования Севморпути.

Северный морской путь.

— Северный морской путь развивается исключительно усилиями нашей страны и является нашим национальным достоянием.

С 2025 года в рамках нового федерального проекта «Развитие Большого Северного морского пути» начинается формирование единого экономического и

транспортно-логистического пространства, результатом которого будет обеспечение связанности территорий Северо-Запада Российской Федерации и Дальнего Востока, а также развитие транспортной безопасности нашей страны.

Дальнейшие планы развития Севморпути будут рассмотрены, в том числе, Советом по защите национальных интересов Российской Федерации в Арктике, созданного в рамках Морской коллегии.

Среди важнейших задач, стоящих перед государством, является повышение конкурентоспособности Северного морского пути не только во внутрироссийском или региональном, но и в глобальном масштабе. СМП – удобный путь для каботажных перевозок, где нет альтернативных маршрутов. Более того, перевозить грузы мы можем как с Запада на Восток, так и в обратном направлении. Имеются перспективы перевозки на соответствующих судах морских биоресурсов, выловленных в Тихом океане.

В ближайших планах – расширение возможностей морских портов и терминалов, как непосредственно вдоль Севморпути, так и в городах и населенных пунктах, где необходима перегрузка грузов с морского на речной и железнодорожный транспорт.

Судостроение для Арктики.

— Несомненно, ведь с каждым годом увеличиваются потребности в ледокольном флоте, арктических судах ледового класса, аварийно-спасательном и вспомогательном флоте. Поэтому необходимы инновационные идеи для создания новых ледоколов, атомного, транспортного, рыбопромыслового и научного флота. Следует совершенствовать научно-экспериментальную базу в судостроении, повысить эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

С этой целью считаю важным создать Национальный исследовательский центр судостроения имени академика А.Н. Крылова. Судостроению как высокотехнологичной сфере просто необходим такой центр. Он должен стать фундаментом стремительного развития отрасли, пионером в разработке технологий будущего по аналогии с имеющимися национальными исследовательскими центрами имени академиков И.В. Курчатова и Н.Е. Жуковского, которые вносят колоссальный вклад в разработку уникальных технологий в атомной отрасли и авиации.

По материалам журнала «Национальная оборона»



МОЩНОСТИ ВЕРФЕЙ «КАЛАШНИКОВА»: ОТ УНИКАЛЬНЫХ КРАБОЛОВОВ ДО АРКТИЧЕСКОЙ «ХАСКИ»

В рамках рабочей поездки в Ярославскую область помощник Президента РФ, председатель Морской коллегии России Николай Патрушев посетил в Рыбинске ООО «Верфь братьев Нобель» (ООО «ВБН», концерн «Калашников»).

«Верфь братьев Нобель» основана в 1907 году и является крупнейшей на Верхней Волге. Ее технологические и производственные мощности позволяют строить, ремонтировать и модернизировать речные и морские суда дедеветом до 6 500 т, длиной до 140 м, шириной до 17 м и спусковым весом до 2 700 т. Площадь ООО «ВБН» составляет более 214 тысяч м², из которых 100 тысяч м² заняты хорошо оборудованными производственными цехами. Численность персонала – свыше 300 человек.

Николай Патрушев обсудил с руководством концерна «Калашников» и «Верфи братьев Нобель» вопросы развития производственных мощностей завода, их загрузки перспективными заказами, а также вопросы кадровой политики и обеспечения предприятия трудовыми ресурсами.

«Важно уделять отдельное внимание вопросам модернизации производства, способствующей дальнейшему развитию отечественного судостроения, обеспечению технологического суверенитета страны. Необходимо создать новые технологические цепочки в судостроении и смежных отраслях промышленности. В вашей продукции, в частности, заинтересованы рыбопромышленники Дальнего Востока, нуждающиеся в обновлении рыбопромыслового флота. Кроме того, назрела потребность в принятии дополнительных мер по привлечению на завод высококвалифицированных инженерных и рабочих кадров», – отметил Николай Патрушев.

Генеральный директор ООО «Верфь братьев Нобель» Дмитрий Быстров рассказал помощнику Президента РФ о том, что на заводе уделяется большое внимание эффективной реализации кадровой политики. Активно проводится поиск и отбор кандидатов на вакансии, развивается наставничество, проходят профориентационные мероприятия. Верфь также заключила договоры с рядом технических высших и средних специальных учебных заведений Ярославской области и Санкт-Петербурга о сотрудничестве в сфере совершенствования качества подготовки профильных специалистов и целевом обучении студентов с их последующим трудоустройством в ООО «Верфь братьев Нобель».

Руководство завода продемонстрировало строящиеся на верфи суда, а также материально-техническую базу предприятия.

В судостроительном эллинге Николай Патрушев осмотрел корпус буксира ледокольного типа «Нарвская застава» проекта 3262, заложенного 4 июля 2024 года. Он предназначен для обеспечения экологической безопасности и решения целого спектра разных задач на реке Неве в акватории Северной столицы. Заказчик – комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга. Контракт на строительство буксира подписан в декабре 2023 года. Срок сдачи заказчику – конец 2026 года.



На «Верфи братьев Нобель» в эллинге председатель Морской коллегии России Николай Патрушев (в центре) слушает пояснения о строящихся заказах генерального директора предприятия Дмитрия Быстрова (справа)



Идет формирование корпуса буксира ледокольного типа «Нарвская застава» проекта 3262

В настоящее время на заказе идет формирование корпуса, завершить его планируется к концу апреля текущего года.

В эллинге также строят два судна проекта 6135 по федеральной инвестиционной программе «Квоты под киль». Заказчик – ООО «Восток» (г. Владивосток): рыбопромышленная компания подписала контракт с «ВБН» на строительство краболовов-живовозов в апреле 2024 года. Первый краболов будет передан заказчику в 2027 году, второй – в 2028 году.

Суда предназначены для круглогодичного промысла, сортировки и транспортировки живого краба в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне и соответствующим ледовому классу Ice 2. На них будет установлено современное оборудование для ловли краба конусными ловушками «японского» типа с последующей сортировкой, взвешиванием и транспортировкой 80–100 т продукции в специальных изолированных цистернах с охлаждаемой забортной водой.

В ходе состоявшейся на заводе беседы отмечено, что краболовы-живовозы проекта 6135 – уникальные суда по своим инженерным и ходовым характеристикам, набору комплектующих. Однако главная особенность проекта – это первый отечественный краболов, который полностью спроектирован в России.

«На сегодняшний день идет формирование корпусов судов-краболовов. «Верфь братьев Нобель» с момента создания имеет опыт строительства судов разного, в том числе специального, назначения: танкеров, сухогрузов, буксиров, рыбопромысловых судов, судов портофлота. Мы любим строить суда, любим свою профессию и заверяем, что реализуем эти проекты, используя технологические решения, оборудование и материалы отечественного производства, также успешно, как и все предыдущие. В настоящее время верфь может строить сразу до четырех судов класса «краболов», – подчеркнул генеральный директор Дмитрий Быстров.

Николаю Патрушеву также показали открытый горизонтальный стапель, поперечный одноярусный гребенчатый слип и блок корпусных цехов, в частности заготовительное производство с производительностью участка резки металла 300–350 т в месяц.

Отдельным пунктом программы пребывания Николая Платоновича в ООО «ВБН» стал осмотр у достроечной набережной верфи краболова «Владимир» проекта DAMEN CCa5712LS, спущенного на воду в 2023 году. Председатель Морской коллегии отметил высокое качество постройки нового судна.



На верфи также строятся уникальные краболовные суда проекта 6135



Потенциальные заказчики судна на воздушной подушке с гибкими skeгами «Хаска-10» – МЧС России, нефтегазодобывающие компании, арктические и субарктические регионы РФ

Важно напомнить, что в минувшем году «Верфь братьев Нобель» передала заказчику краболовное судно «Сергей Приходько», однопроектное с «Владимиром». Оно успешно совершило переход Северным морским путем в порт Находки и в настоящее время ведет промысел краба в дальневосточных морях.

Помимо этого, директор дивизиона судостроения «Калашникова» Александр Наволоцкий представил Николаю Патрушеву видеопрезентацию судна на воздушной подушке (СВП) «Хаска-10», построенного на Рыбинской верфи (концерн «Калашников») по заказу Минпромторга России в рамках госпрограммы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы». СВП может двигаться в любых условиях при температуре до -50 °С со скоростью 40 узлов, транспортировать до 10 т груза и является альтернативой воздушному транспорту по доставке всего необходимого на труднодоступные территории Крайнего Севера.

«Хаска-10» – крупнейшее гражданское судно на воздушной подушке с гибкими skeгами. Их применение повышает экономичность и управляемость судна при сохранении достаточно высоких характеристик амфибийности, мореходности и ходкости. Потенциальными заказчиками СВП могут стать МЧС России, нефтегазодобывающие компании, а также арктические и субарктические регионы РФ.

Валерий СЯБРОВ
Фото: АО «Концерн «Калашников»



В недрах континентального шельфа России содержатся колоссальные объемы углеводородов (более 13 млрд т нефти и около 79 трлн м3 газа). При этом на арктические моря приходится более 85% начальных суммарных ресурсов, наибольшая доля – на моря Западной Арктики: Баренцево, Печорское и Карское. В России на Арктическом шельфе открыто более 26 месторождений нефти и газа.

Одновременно с открытием запасов углеводородного сырья на арктическом шельфе возникает задача их транспортировки. В настоящее время наиболее распространены два варианта – вывоз танкерами или доставка по трубопроводам. Второй вариант имеет больше преимуществ, поскольку дает возможность бесперебойной поставки сырья к берегу независимо от погодных условий.

По программе «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» первоочередными районами работ на российском шельфе являются Обская и Тазовская губы, северо-восточный шельф Баренцева моря, шельф Печорского моря и Приамальский шельф. Одной из составляющих реализации программы является создание морской инфраструктуры, включающей морские трубопроводы, в том числе промысловые. Актуальность работ в данном направлении также обусловлена необходимостью оснащения подводных объектов обустройства Киринского и Южно-Киринского месторождений средствами мониторинга с учетом санкционных ограничений на поставку импортного оборудования, тяжелых гидро-метео и ледовых условий, а также прецедентов преступного воздействия третьих лиц на аналогичные объекты.

На этапе проектирования и строительства подводных трубопроводов чрезвычайно важны такие

показатели, как прочность и устойчивость, особенно когда речь идет об экстремальных условиях Арктики, где сочетается множество видов нагрузок, которые отличаются на мелководье и больших глубинах. От выполнения всех технических требований зависит безопасность последующей эксплуатации трубопроводов. При проведении работ в Арктической зоне надо учитывать слабое развитие инфраструктуры по сравнению с шельфами Северного моря или Мексиканского залива, ограниченность строительного сезона, сложную ледовую обстановку и другие факторы. Все это формирует новые вызовы для судостроительной отрасли, от которой требуются специальные суда ледового класса для выполнения сложных работ на континентальном шельфе Арктики как в ходе строительства, так и при дальнейшем обслуживании морских сооружений.

На этапе эксплуатации особое место отводится мероприятиям, направленным на:

- обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводов при возникновении техногенных и антропогенных угроз;
- разработку технологий диагностики и ремонта оборудования;
- защиту окружающей среды и устранение рисков загрязнения.

С учетом современного уровня развития науки и технологий большое внимание уделяется разработке и использованию подводных робототехнических средств, что открывает широкие перспективы для проведения исследований, монтажа, мониторинга, диагностики и обеспечения безопасности морских трубопроводов.

Отечественные разработки в области обитаемых подводных аппаратов для решения задач контроля состояния различных морских трубопроводов, в том числе глубоководных осуществляются АО «ЦКБ «МТ «Рубин» и «АО «СПМБМ «Малахит».

Необитаемые подводные аппараты делятся на 2 основных типа:

1. Телеуправляемые подводные аппараты (далее – ТНПА), ТНПА используются для картографии грунта, осмотровых работ, для спасательных операций, для остропки и извлечения крупных объектов со дна, для работ по обеспечиванию объектов нефтегазового комплекса (поддержка бурения, инспекция трасс газопроводов, осмотр структур на наличие поломок, выполнение операций с вентилями и задвижками), для операций по разминированию, для научных приложений, для поддержки водолазных работ, для работ по поддержанию рыбных ферм, для археологических изысканий, для осмотра городских коммуникаций, для осмотра судов на наличие взрывчатых устройств или контрабандных товаров, прикрепленных снаружи к борту и др. Круг решаемых задач постоянно расширяется, и парк аппаратов стремительно растёт. Работа аппаратом намного дешевле дорогостоящих водолазных работ несмотря на то, что первоначальные вложения достаточно велики, хотя работа аппаратом не может заменить весь спектр водолазных работ.

Основное преимущество – контроль оператора за всеми действиями аппарата, а также возможность зависания в требуемой точке для проведения необходимых действий.

2. Автономные необитаемые подводные аппараты (далее – АНПА). В нефтяной и газовой промышленности автономные подводные аппараты используются для составления подробных карт морского дна для проектирования подводной инфраструктуры, что позволяет устанавливать оборудование наиболее эффективно с минимально возможными повреждениями. Автономные подводные аппараты позволяют проводить точные обследования дна в районах, где традиционные исследовательские методы менее эффективны или дорогостоящи.

Преимущество АНПА – осуществление исследования по четко выдерживаемому маршруту большой протяженности, с контролем профиля глубин.



Рис. 1. ТНПА

Наиболее часто именно АНПА используются для исследования состояния и качества воды, контроля ситуации в районе трубопроводов и других протяженных объектов нефтегазовой инфраструктуры, площадной гидроакустической и батископической съемки.

Отдельным направлением в разработке автономных необитаемых подводных аппаратов являются глайдеры.

АО «НПП ПТ «Океанос» в кооперации с СПбГМТУ, институтом им. Иоффе и др. ведет разработку семейства подводных глайдеров с рабочей глубиной до 1000 м.

В судостроительной и смежных отраслях промышленности создан научно-технический задел, позволяющий обеспечить развитие морской робототехники для решения широкого круга задач.

Ключевыми отечественными компаниями, обладающими компетенциями в области создания морской робототехники и ее компонентов являются:

- АО «СПМБМ «Малахит»;
- АО «ЦКБ МТ «Рубин»;
- АО «Концерн «НПО «Аврора»;
- АО «НПП «Океанос»;
- АО «Тетис Про»;
- АО «Концерн «МПО – Гидроприбор»;
- АО «АКИН»;
- СПбГМТУ;
- Фонд перспективных исследований РАН;



ПОДВОДНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

ОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ

НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ

АТОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ

ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ



Рис. 2. Подводный глайдер совместной разработки СПбГМТУ и АО «НПП ПТ «Океанос»



Рис. 3. АНПА разработки АО «Концерн НПО «Аврора»

- ФГУП «ОКБ ОТ РАН»;
- Институт проблем морских технологий ДВО РАН;
- ООО «Индэл-Партнер»;
- и другие.

В современных условиях на стадиях проектирования, монтажа и эксплуатации морских трубопроводов необходимо предусматривать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера (природные явления), техногенных (химические загрязнения, разливы нефтепродуктов) и антропогенных угроз (диверсионная угроза объектам подводной инфраструктуры) и обладать достаточными средствами мониторинга, контроля, противодействия, и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

В рамках ФЦП и ГП за последние 10 лет разработан ряд образцов оборудования, которое может быть применено в том числе в целях обеспечения безопасности, мониторинга и контроля морских трубопроводов.

1. Разработка акустического комплекса охраны объектов

Комплекс предназначен для антитеррористической защиты охраняемых объектов со стороны акваторий и должен обеспечивать выполнение регламента работ по противодействию подводным пловцам – нарушителям.

2. Разработка гидроакустической системы освещения подводной обстановки с повышенной дальностью распознавания (далее – ГАСПДР) подводных объектов для буровых комплексов на шельфовых месторождениях северных морей

Благодаря высокому угловому разрешению проектируемая система позволит не менее, чем в 5 раз увеличить дистанцию, на которой акустическое изображение подводного объекта будет воспроизводиться с качеством, необходимым для его распознавания.

3. Разработка комплекса технических средств внутритрубной диагностики морских магистральных трубопроводов

Универсальный измерительный снаряд обладает:

- максимальными из отечественных аналогов показателями массива одновременно измеряемых величин и дистанции разового прогона;
- самым высоким (до 2 мм) разрешением геометрии профиля стенки трубопровода, инвариантным к движению при скоростях до 10 м/с;
- максимальным из известных аналогов разрешением по округлости (64 канала) при прохождении сужений до 70 % от номинального диаметра;
- стабильностью усилия прижатия в широком диапазоне углов.

4. Разработка технологии создания ремонтного комплекса, обеспечивающего оперативный ремонт трубопровода для доставки углеводородного сырья

Также в рамках ряда ОКР разработаны образцы энергетических систем, систем накопления энер-

гии, приборов и материалов.

За последние 10 лет в рамках федеральных целевых и государственных программ разработаны проекты судов и технических средств, предназначенных для строительства, ремонта и обеспечения безопасности морских трубопроводов.

4. Концептуальные проекты двух судов (большого и малого) для строительства, ремонта и обеспечения безопасности (далее – СОСРБ) морских магистральных трубопроводов и сооружений на нефтяных и газовых месторождениях арктического континентального шельфа

Сформированная в составе ОКР информационная база для проектирования судов этого типа, а также реализация новых технических решений по обеспечению эффективного использования судов и их подводных технических средств в тяжелых ледовых условиях, позволили выполнить проектные работы в соответствии с мировыми тенденциями и научно-техническим уровнем, соответствующим лучшим судам-аналогам. Проектируемые СОСРБ являются первыми в мире судами такого назначения, предназначенными для выполнения работ в арктических условиях.

Также в рамках ОКР разработаны предложения по составу специальных подводных технических средств и технологического оборудования для эффективного решения задач по назначению судна.

Предлагаемая для размещения на разработанных судах система наблюдения и контроля окружающей обстановки, состояния подводных трубопроводов и объектов обустройства нефтегазопромыслов обеспечивает создание единого информационного пространства для своевременной и скоординированной поддержки принятия управленческих решений на рабочих местах технических специалистов, разработку планов и контроль выполнения диагностических и инспекционных обследований по всем типам оборудования и сооружений, а также других оперативных задач.

Система включает различные средства наблюдений за состоянием инженерных сооружений и параметрами окружающей среды, а также средства навигационной привязки.

5. Технический проект многоцелевого судна обеспечения

С помощью дополнительного модульного оборудования (рис. 9), размещаемого на открытой палубе, можно расширить функциональные возможности МСО в решении следующих задач:

- тушение пожаров на судах, плавучих и береговых сооружениях;
- ликвидация аварийных разливов нефти;
- обследование и обслуживание подводных конструкций и устройств с помощью подводных необитаемых аппаратов и водолазов.

6. Предварительная проектная проработка научно-исследовательского судна для инспекции морских трубопроводов «Инспектор»

Суда российских компаний в основном не соответствуют требованиям, предъявляемым для инспектирования трубопроводов. С целью снижения зависимости от риска возникновения санкций со стороны иностранных государств и исключения



Рис. 4. Многоцелевое судно обеспечения

риска срыва регулярных инспекций предлагается создание отечественного судна для инспекции морских трубопроводов.

Создаваемое судно позволит проводить комплексное обследование морских трубопроводов в объеме, соответствующем возможностям устанавливаемого на нем оборудования, что обеспечит максимально достоверную оценку их технического состояния.

7. Предварительная проектная проработка специализированного судна для выполнения работ по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту подводных объектов добычи углеводородов (судно ДТОиР)

Текущие и перспективные проекты освоения морских месторождений добычи углеводородов, расположенные на континентальном шельфе в акватории замерзающих морей, предполагают применение комплекса оборудования подводной добычи без строительства каких-либо надводных объектов.

Для выполнения регулярной диагностики, сервисного обслуживания и ремонтных работ используются специализированные суда, оснащенные телеуправляемыми необитаемыми подводными аппаратами (ТНПА), водолазными комплексами, гидрографическим и прочим специализированным оборудованием и приборами.

В целях обеспечения безопасности морских трубопроводов необходимо предусматривать комплексную систему безопасности (судно-носитель, робототехнические комплексы, технические средства и технологическое оборудование), позволяющую обеспечить решение задач как в области мониторинга и диагностики подводных трубопроводов, так и задач по оперативному распознаванию и эффективному противодействию возникающим угрозам.

К перспективным направлениям научно-техни-

ческого развития морской робототехники следует отнести:

- создание специализированных судов-носителей морских робототехнических систем (далее – МРТС), позволяющих выполнять широкий круг задач;
- повышение степени автономности, снижение энергопотребления МРТС (увеличение продолжительности выполнения операций (развитие технологий в области создания перспективных энергетических установок, двигателей, источников питания (солнечные батареи, ветрогенераторы, энергия волн и пр.);
- обеспечение работы МРТС в тяжелых условиях, в том числе ледовых;
- увеличение предельной глубины погружения МРТС;
- расширение номенклатуры операций, проводимых МРТС (как поисковые и мониторинговые, так и сервисные, противодиверсионные функции);
- расширение области применения МРТС (разведка и добыча полезных ископаемых, в том числе на больших глубинах, разведка и добыча биоресурсов, экологический мониторинг, поиск затонувших объектов и пр.);
- применение интегрированных решений для разрабатываемого радиоэлектронного оборудования, снижение массогабаритных показателей систем и оборудования;
- обеспечение комплексного согласованного применения МРТС путем развития систем управления и связи;
- импортозамещение судового комплектующего оборудования (основу российского парка подводных аппаратов составляют осмотровые и легкие рабочие аппараты зарубежных компаний);
- создание полигонов для испытаний и апробации новых технологий и образцов МРТС.



ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ И АВТОРЫ ЖУРНАЛА «МОРСКАЯ НАУКА И ТЕХНИКА»

Ваше внимание к проблемам дальнейшего развития морской науки и техники находит заслуженный и заинтересованный отклик у специалистов государственных структур, научно-исследовательских академических и отраслевых институтов, конструкторских и технологических бюро, промышленных предприятий и широкого круга пользователей традиционной, современной и перспективной морской техники гражданского и оборонного назначения. Такое соединение научной мысли, технологического процесса и прикладной направленности стало приобретать всё большую актуальность в нашей стране и мире в связи с расширением потребностей человечества в использовании социально-экономического и оборонного потенциала мирового океана в ресурсном, энергетическом, продовольственном, микробиологическом, транспортном, климатическом жизнеобеспечении.

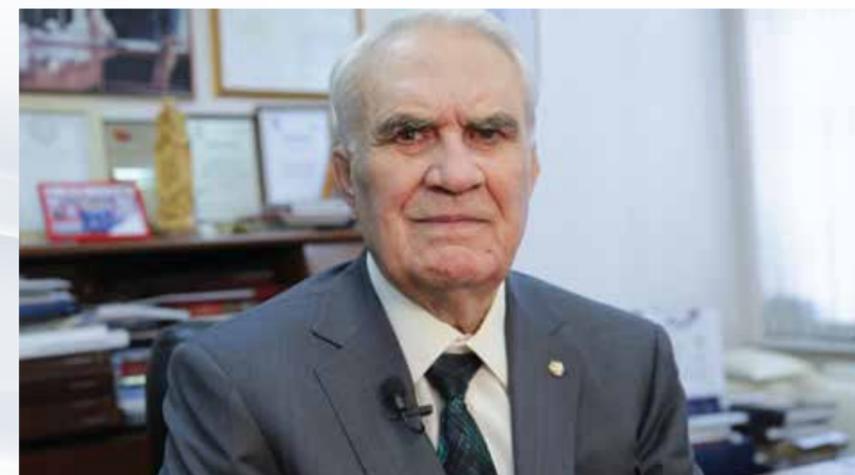
Журнал «Морская наука и техника» на современном этапе конца первой четверти XXI века получил существенный импульс в своей целенаправленной деятельности после утверждения Президентом Российской Федерации «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» (от 02.07.2021 г. №400), «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (от 28.02.2024 г. №145), «Морской доктрины Российской Федерации» (от 31.07.2022 г. №512), «О морской коллегии Российской Федерации» (от 13.08.2024 г. №691).

Одним из мероприятий по практической реализации задач журнала «Морская наука и техника» в соответствии с указанными выше государственными решениями стало образование в 2022 г. Межведомственного экспертного совета по безопасности морских подводных трубопроводов и объектов с наделением его функциями анализа, постановки задач по обеспечению эффективности при их создании и эксплуатации по критериям приемлемых рисков. Межведомственный совет при координации и взаимодействии с Советом Безопасности, Федеральным Собранием, Морской коллегией, Российской академией наук, Морским регистром, Ростехнадзором, Росстандартом и при участии Минпромторга, Минэнерго, Минобороны России начал разработку нормативной правовой базы обоснования проектирования, строительства и функционирования морских подводных трубопроводов и объектов, как критически и стратегически важных для национальной безопасности.

Выходящий в свет настоящий номер журнала «Морская наука и техника» в значительной степени посвящен стратегическим направлениям реализации Морской доктрины Российской Федерации с учетом «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» по распоряжению Правительства Российской Федерации от 30.08.2019 г. №1930-р. В нем получили отражение материалы совещания Межведомственного экспертного совета от 27.03.2025 г.

Редакционная коллегия журнала выражает надежду на дальнейшее развитие и укрепление связей между всеми разработчиками морской науки и техники в стратегических интересах России.

*Николай Андреевич Махутов, член-корреспондент РАН,
председатель комиссии РАН по техногенной безопасности,
Председатель МЭС по безопасности МПТ и объектов,
президент научно-промышленного союза «Риском»*



ДОБРЫЙ ДЕНЬ, УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

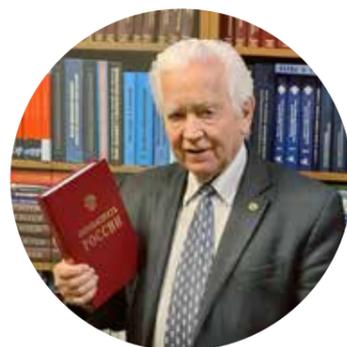
Сердечно приветствую вас, на очередной конференции межведомственного экспертного совета по безопасности подводных трубопроводов и объектов.

Уже, достаточно продолжительное время работает наш межотраслевой совет. Я думаю, что настало время, чтобы появились какие-либо результаты нашей с вами деятельности. Пока, мы больше работаем внутри себя, обсуждаем, спорим, пишем хорошие, грамотные статьи. Но, с точки зрения подхода государственных организаций, министерств, ведомств и т.д., пока существенного, серьезного влияния мы не оказали. Думаю, что это предстоит нам сделать.

Сейчас многие стали более чётко прислушиваться к общественным организациям. Тем более, у нас, в нашем межотраслевом совете собраны специалисты очень высокого уровня. Пожалуй, другого такого совета на конкретную проблему и нет. Поэтому, желаю вам всяческих успехов, благополучия и главное, чтобы появились интересные, грамотные, высококвалифицированные решения нашего совета.

*Геннадий Иосифович Шмаль, Председатель Союза
нефтегазопромышленников России,
Эксперт МЭС по безопасности МПТ и объектов.*

НАУЧНАЯ БАЗА КОМПЛЕКСНОГО ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ



Аннотация: Рассмотрены фундаментальные закономерности процессов деформирования, повреждения и разрушения, лежащие в основе количественного определения безопасности морских подводных трубопроводов и объектов на всех стадиях их жизненного цикла. В качестве критериев комплексной безопасности приняты система запасов по параметрам рисков, связанных с запасами прочности, ресурса, надежности и живучести. Это позволяет комплексно увязать нормативную базу по проектированию, строительству, испытаниям, эксплуатации, контролю, диагностике и ремонту при продлении срока службы и вывода из эксплуатации.

Формирование единых научно-методических основ этой базы является одной из главных целей деятельности Межведомственного экспертного совета по безопасности морских подводных трубопроводов и объектов. Их отнесение к числу критически и стратегически важных для национальной безопасности требует привлечения передовых научных достижений в теории безопасности и рисков, а также современных методов физического и математического моделирования с использованием аналитических, цифровых, экспериментальных и интеллектуальных технологий.

Ключевые слова: безопасность, риск, живучесть, надежность, ресурс, прочность, расчет, критерий, морской трубопровод и объект.

Авторы: Н.А. Махутов – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИМАШ РАН.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ

Прочность, ресурс, надежность, живучесть и безопасность морских подводных трубопроводных систем и объектов со второй половины XX века стали предметом внимания не только фундаментальной науки, прикладных технических и технологических, инженерной практики, но и формирования социально-экономических и экологических исследований гражданского и оборонного назначения. Этому способствовало открытие значительных запасов жидких и газообразных энергоносителей на морском шельфе, расширение методов и средств добычи, обработки, хранения и транспорта нефти и газа

на водной поверхности и морском дне, в прибрежной зоне, искусственных морских сооружениях. В то же время продвижение от береговой наземной инфраструктуры к прибрежной, надводной и подводной было сопряжено с целым спектром принципиально новых проблем и задач проектирования, строительства и эксплуатации, в первую очередь, морских подводных трубопроводов (технологических и магистральных) и объектов (морские платформы, геологоразведочные и добычные системы, наливные и перегрузочные терминалы), контрольные и диагностические комплексы, системы подводной диагностики и защиты. Сложные и неустойчивые природно-климатические, биохимические явления и процессы на



Рис. 1. Видимые и скрытые проблемы безопасности от надводной и подводной частей айсбергов



Рис. 2. Гибель «Титаника» при столкновении с айсбергом

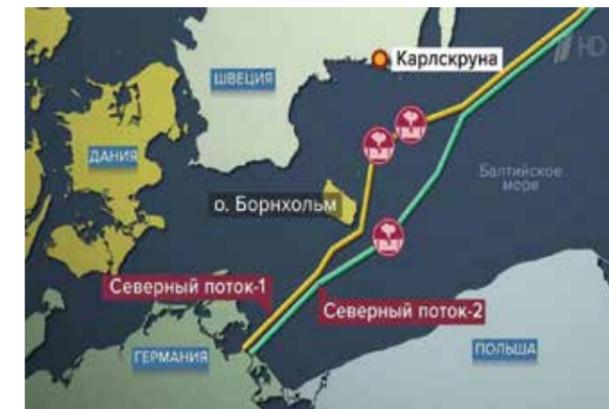


Рис. 3. Зоны взрывного поражения магистральных газопроводов СП-1 и СП-2

водной поверхности, морских глубинах и морском дне порождали расширение спектров эксплуатационных воздействий, ведущих к ускорению накопления повреждений и переходу морских подводных трубопроводов и объектов в предельные аварийные и катастрофические состояния. Эти опасные процессы и явления обобщались для многих стран крупнейшими катастрофами с многомиллиардными ущербами для экономики (до 1010÷5·1010 долл. США), разрушениями объектов (платформ, трубопроводов, терминалов), гибелью людей (до 150 чел.), загрязнением больших водных пространств. Здесь уместно указать на катастрофы уже XXI века на морских платформах в Северном и Охотском морях, подрывом российских трубопроводов в Балтийском море, на танкерах по перевозке нефти и Аляски США и мазута у черноморского побережья (Россия).

Образность неопределенностей и сложностей проблем анализа безопасности в Мировом океане в связи с небольшой их надводной и огромной подводной частью была отмечена 26.02.2025 г. на совещании специалистов по безопасности воздушных полетов в музее Н.Е. Жуковского (рис. 1).

Видимая часть надводных опасностей более доступна для исследователей, а подводная существенно объемнее надводной и скрыта от прямых наблюдений. Но и надводная часть айсберга в ночное время стала источником крупнейшей катастрофы 15.04.1912 г. на океанском лайнере «Титаник» с гибелью более 1500 пассажиров (рис. 2).

Фронт и объем современных подводных разработок энергоносителей на морском шельфе второй половины XX века резко возросли, увеличив за последние 50 лет число аварийных ситуаций на морских подводных трубопроводах в среднем от 50 до 250, а максимально до 450 в год.

Крупнейшей из них стала авария с террористическим подрывом трубопроводов СП-1 и СП-2 26.09.2022 г. с экономическим ущербом более 107 долл. в Балтийском море (рис. 3).

Изложенные выше обстоятельства были учтены при организации в 2022 г. Межведомственного экспертного совета (МЭС) по безопасности морских подводных трубопроводов и объектов на базе Комиссии РАН по техногенной безопасности, соответствующих департаментов Минпромторга, Морского регистра, управлений Ростехнадзора, Газпрома, НПС «Риском», Союза нефтегазопромышленников, НГБ «Энергодиагностика». Основ-

ные положения о направлениях деятельности МЭС и результаты его работы в 2022 – 2025 гг. отражены в ряде специальных выпусков (№№ 9, 11) журнала «Морская наука и техника» и «Бюллетене информационно-аналитических материалов о безопасности морских подводных трубопроводов». Ниже намечены этапность и существо развития специалистами и участниками МЭС методологии анализа и обеспечения ключевых показателей работоспособности и эффективности морских подводных трубопроводов и объектов.

2. РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБЪЕКТОВ

Учитывая самую большую в мире протяженность пограничной береговой линии и общей протяженности морских границ, составляющей около 39 тыс. км или около 65% всех границ России, а также энергоресурсный запас на морском шельфе около 85 трлн м³ и 17 млрд т нефти, вопросы и проблемы анализа, нормирования, обеспечения и повышения безопасности морских подводных трубопроводов и объектов становятся критически и стратегически важными для реализации требований Конституции [1] и стратегии национальной безопасности [2]. Научная, техническая и технологическая стороны этой реализации регламентированы стратегией научно-технологического развития страны [3] и соответствуют национальным целям развития [4] и группе национальных проектов страны. Ориентация приоритетов, целей и задач дальнейшего развития Российской Федерации до 2030 г. и на перспективу до 2026 г. на решение глобальных и конкретных проблем становления и функционирования морских трубопроводов и объектов (рис. 4) предусмотрена в Морской доктрине [5] и стратегии развития морской деятельности [6], стратегии развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности [7]. Целый ряд положений по перспективам проектирования, создания и эксплуатации морских подводных трубопроводов и объектов отражен в энергетической [8] и транспортной [9] стратегиях Российской Федерации.

В соответствии с требованиями системы руководящих документов федерального уровня на протяжении многих десятилетий шло развитие и совершенствование методов и средств обеспечения и повышения безопасности морских подводных трубопроводов и объектов.

Важность, многофакторность и нетрадиционность ис-



Рис. 4. Система руководящих документов по обеспечению безопасности морских подводных трубопроводов и объектов

ключительно важного проекта Ладожского подводного трубопровода была продемонстрирована в нашей стране при его строительстве в 1942 г. для блокадного Ленинграда. Его подводная протяженность составляла 26 км с глубиной до 13 м. Трубы диаметром 100 мм на берегу сваривались в секции длиной 100 – 200 м, которые на понтоне доставлялись для сварки секций в 1000 – 1500 м с их опусканием со льда вручную на дно (рис. 5).

Уникальное нестандартное проектирование, строительство, испытания и эксплуатация в условиях военного времени дали беспрецедентный опыт дальнейшего развития отечественного подводного трубопроводного транспорта энергоресурсов.

К настоящему времени в нашей стране было построено и введено в эксплуатацию большое число морских подводных трубопроводов в местах шельфовой добычи нефти и газа в Каспийском, Охотском, Черном, Карском, Балтийском морях. При этом максимальная протяженность магистральных трубопроводов составляет более 1220 км, а максимальная глубина «Голубого потока» и «Северного потока» (СП-1, СП-2) по длине 396 км достигают 2200 м, внутренне давление – 25 МПа, диаметр 610 мм с толщиной стенки 31,8 мм.

На рис. 6 представлены основные показатели развития базовых параметров отечественных морских подводных трубопроводов глубины (от 13 до 2200 мм), диаметров D (от 100 до 610 мм), давлений p (0,1 до 25 МПа), пределов текучести τ_t (от 200 до 450 МПа), пределов прочности τ_b (от 400 до 650 МПа) при снижении запасов прочности n_0 (по пределу текучести 2,8 до 1,5).

Наибольшим (на порядки) относительное изменение

за прошедшие десятилетия было для таких параметров морских подводных трубопроводов, как глубина H , протяженность L , диаметр D и давление p . Изменение механических свойств (σ_t , σ_b) трубных сталей и запасов прочности n_0 было не столь значительным (в десятки процентов и разы).

3. ЭТАПНОСТЬ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОБОСНОВАНИЯ РАБОТСПОСОБНОСТИ

Применительно к трубопроводным системам для транспорта газообразных и жидких углеводородов в нашей стране и мире на протяжении всего XX века в практике проектирования, строительства и эксплуатации использовались общие унифицированные для инженерных расчетов методы. В последние полвека, с 70-ых годов XX в., стали разрабатываться специализированные методы расчетов для подводных трубопроводов. Наиболее значимые результаты этого специализированного подхода были получены [11, 12] в Норвегии (DNV), США (ASME, API) Великобритании (BP), России (ВНИИГАЗ, Росстандарт). Анализ состояния научных, методических, инженерных, строительных, эксплуатационных и надзорных подходов после указанных выше тяжелых катастроф на магистральных трубопроводах СП-1, СП-2 был проведен Межведомственным экспертным советом [10 - 13]. На этой основе в МЭС были разработаны методические указания по обоснованию безопасности с учетом повреждений и деформаций.

На рис. 7 по обобщенным данным представлены четыре этапа становления и развития методологии достижения заданных параметров работоспособности



Рис. 5. Прокладка первого подводного трубопровода на Ладоге в 1942 году

создания и функционирования магистральных морских подводных трубопроводов.

Фундаментальные научные основы для каждого из четырех этапов разрабатывались Академией наук – АН СССР и РАН, координацию этих разработок в последние сорок лет осуществляли:

- Рабочая группа (РГ) при президенте Академии наук по анализу риска и проблем безопасности, созданная президентом акад. А.П. Александровым в 1987 г. после аварии на Чернобыльской АЭС, и руководимая акад. К.В. Фроловым (до 2008 г.) и чл.-корр. Н.А. Махутовым (до 2020 г.);
- Комиссия РАН по техногенной безопасности (после 2020 г.).

На первом этапе (1942 – 1950 гг.) реализация всех основных проектов в нашей стране для исключения разрушений при максимальных эксплуатационных нагрузках проводилась на базе прочностного проектирования, основы которого были заложены членами Академии И.А. Одиным, Н.Н. Давыденковым, А.И. Целиковым, Л.И. Седовым, Н.С. Стрелецким и отражены в рамках сопротивления материалов и теории упругости.

Второй этап (1950 – 2000 гг.) был связан с дополнительным переходом на ресурсное проектирование, когда предусматривалось обеспечение работоспособности несущих элементов на стадии эксплуатации по параметрам срока службы и числа циклов. Научная база этого этапа создавалась акад. Н.Д. Кузнецовым, С.В. Се-

ренсом, Ю.Н. Работновым, В.В. Новожиловым в рамках теорий усталости, ползучести и длительной прочности. Потребителями и контролерами этих разработок выступали ГКНТ СССР, Ростехнадзор (РТН), Минморфлот (ММФ), Минэнерго (МЭ).

Третий этап (2000 – 2025 гг.) связан с переходом на риск-ориентированное проектирование, когда к требованиям прочности и ресурса были добавлены не менее важные требования безопасности по критериям приемлемых рисков. Эти требования сводились к оценкам вероятностей возникновения аварийных и катастрофических ситуаций и сопутствующих им ущербам (потерям человеческих жизней, нарушениям природной среды, разрушениям инженерных инфраструктур). В разработках этого этапа существенные научные результаты для морских подводных трубопроводов были получены членами Академии наук Б.Н. Четверушкиным, В.В. Адушкиным, Б.В. Замышляевым, Н.А. Махутовым в рамках теорий катастроф, механики разрушения, механики катастроф. Реализация риск-ориентированного подхода в настоящее время осуществляется усилиями Ростехнадзора (РТН), Морского регистра (МР), Минэнерго (МЭ), Росприроднадзора (РПН), Росстандарта (РС).

На четвертом перспективном этапе (2025 – 2035 гг.) с использованием предшествующих трех будут развиты методы проектирования с использованием комбинированных аналитических, экспериментальных, цифровизации и технологий искусственного интеллекта для всех стадий жизненного цикла с прямым учетом того факта,

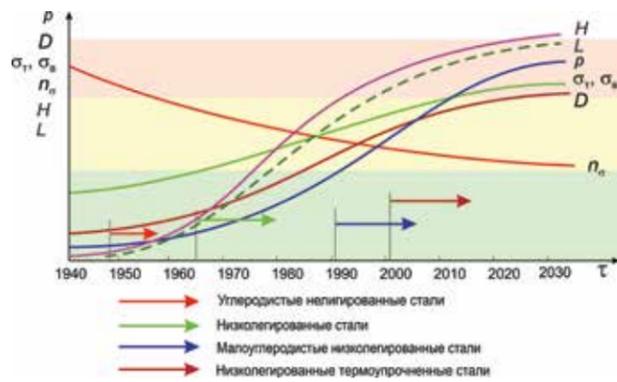


Рис. 6. Изменение базовых расчетных характеристик при определении прочности

кономерностей процессов деформирования, поврежден и разрушения, рассмотренных в соответствующих академических публикациях ученых, указанных на рис. 8.

Для предстоящего четвертого этапа разработок, когда будет задействован и развит комбинированный подход первых трех применительно к функционирующим, строящимся и проектируемым морским подводным, подводным трубопроводам и объектам обязательными остаются сочетания трех нормативных требований:

- проведение основных и поверочных расчетов прочности (первый этап) по традиционным силовым критериям (в номинальных σ_n и локальных $\sigma_{(maxk)}$ напряжениях) с добавлением расчетов по деформационным критериям (в номинальных e_n и локальных $e_{(maxk)}$ деформациях);
- проведение поверочных расчетов ресурса (долговечности, срока службы) по параметрам времени t и числа циклов N (второй этап) с использованием рисков $R(t)$ в вероятностной нелинейной постановке (третий этап) с использованием параметров прочности, ресурса и живучести.

В указанных расчетах будут применены различные основные расчетные схемы (рис. 8):

- для поперечных сечений трубопроводов (простых технологических, сложных магистральных, ремонтных технологических и магистральных);
- для трубопроводов, уложенных под водой по дну, для уложенных под водой в донный грунт, для подводных и подводных.

Во всех расчетных сечениях трубопроводов основными расчетными параметрами являются:

- внутренне рабочее давление p_v транспортируемого углеводорода;
- наружное гидросейсмическое давление воды и грунта p_n ;
- диаметр трубопровода D ;
- толщина стенки трубопровода δ .

Основными силовыми факторами в расчетном сечении для координат x, y, z являются (рис. 9):

- внутренне p_v и наружное p_n давление;
- осевое усилие N_x ;
- перерезывающие усилия Q_y, Q_z ;

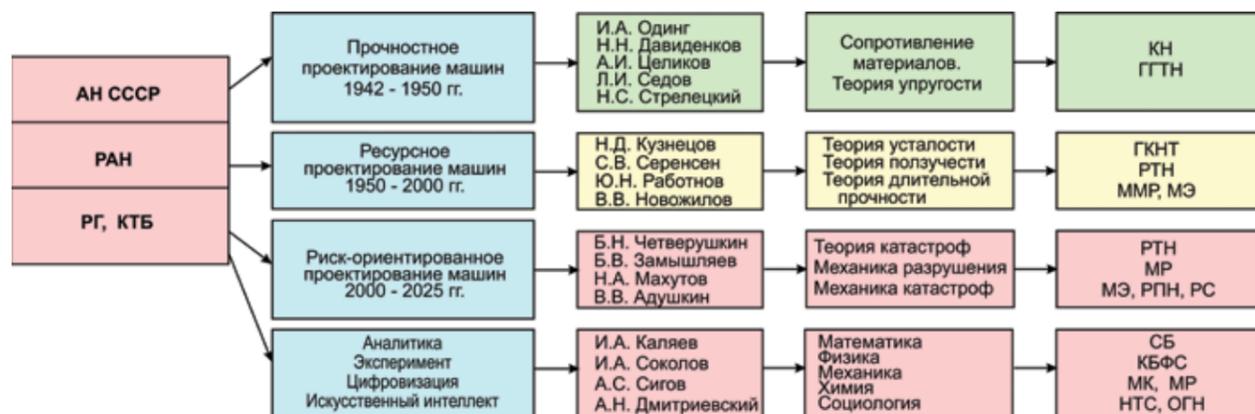


Рис. 7. Основные этапы становления и развития исследований по прочности и безопасности

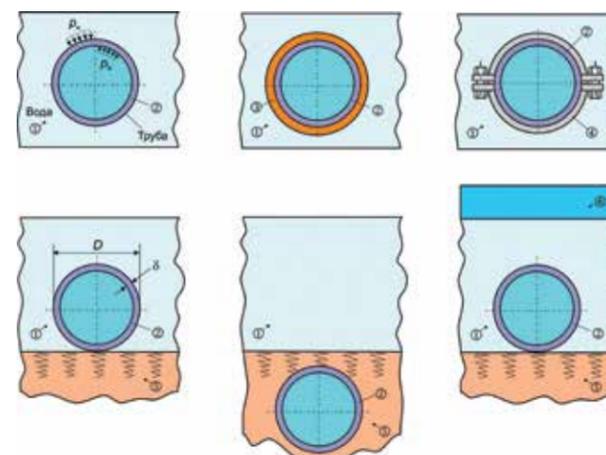


Рис. 8. Основные расчетные схемы и их элементы: 1 - вода, 2 - труба, 3 - обвязка, 4 - ремонтная муфта, 5 - донный грунт, 6 - ледовое покрытие

- изгибающие моменты M_y, M_z ;
- крутящие моменты M_x .

Давления p_v, p_n в сочетании обуславливают возникновение максимальных кольцевых напряжений

$$\sigma_n = \sigma_{max} = \sigma_k \tag{1}$$

Эти напряжения являются исходными для основных нормативных расчетов по допускаемым напряжениям [15 - 17] при определении толщины стенки δ для данной выбранной трубной стали с соответствующими характеристиками механических свойств - пределами текучести σ_t и прочности σ_b

$$\sigma_n = ((p_v - p_n)D)/2\delta \leq [\sigma] = \sigma_{on} / n_o \leq \min\{\sigma_t / n_t, \sigma_b / n_b\}, \tag{2}$$

где σ_{on} - опасное напряжение для трубной стали; n_o - запас прочности по опасным напряжениям $1,20 \leq n_o \leq 2,5$;

n_t, n_b - запасы по пределам текучести и прочности.

В отечественных нормах прочности расчет ведется по предельным состояниям (разрушению и образованию недопустимых пластических деформаций) и предельным сопротивлениям R_1, R_2 ($R_1 = \sigma_b, R_2 = \sigma_t$)

$$R_1 = [\sigma], \min\{R_1, R_2\} / m / n(K_1, K_2, K_n) \tag{3}$$

где m - коэффициент надежности по условиям работы ($0,6 \leq m \leq 0,9$),

n - коэффициент надежности по нагрузке ($1,1 \leq n \leq 1,15$), K_1, K_2 - коэффициент надежности по материалу ($1,3 \leq K \leq 1,6$),

K_n - коэффициент надежности по назначению ($1 \leq K_n \leq 1,05$).

Поверочные расчеты в рамках прочностного проектирования с использованием результатов основных расчетов по выражениям (1) - (3) также проводятся по теории тонкостенных оболочек, но с обязательным учетом всех силовых факторов по рис. 10 для случаев одно-временного нагружения осевым растяжением-сжатием и перерезыванием изгибом и кручением. В этом случае определяются все компоненты номинальных и локальных нормальных σ и касательных τ напряжений

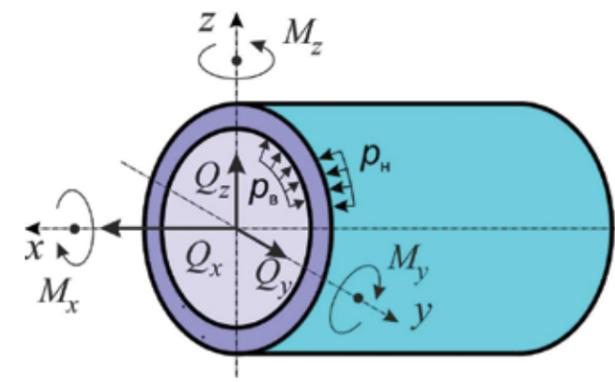


Рис. 9. Силловые факторы в поперечном сечении трубопровода

$$\{(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z), (\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx})\} = \{((p_v, p_n) D) / \delta, N_x / F, ((Q_y, Q_z) / (V_y, V_z)), ((S_y, S_z) / (J_y, J_z)), (M_x, M_y, M_z) / W_y, W_z\} \tag{4}$$

По этим напряжениям устанавливаются главные напряжения (4).

$$(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = F(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z), (\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}) \tag{5}$$

На основе (5) по четырем основным теориям прочности (I - IV) определяют максимальные эквивалентные напряжения

$$(\sigma_{I-IV})_{max} = F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \tag{6}$$

Для пластичных трубных сталей наиболее обоснованным является использование III (теория максимальных касательных напряжений), IV (энергетическая теория) теорий.

$$\tau_{III} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2, \sigma_{IV} = 1 / \sqrt{2} (\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}) \tag{7}$$

Более предпочтительной и прощающей в использовании является третья теория прочности, когда $\sigma_3 = -(p_v, p_n) \ll \sigma_1$, и тогда с учетом (2) для номинальных напряжений

$$\sigma_{III} = \sigma_1 = \sigma_n \tag{8}$$

Так как по (2), (3) при запасах n_t по пределам текучести σ_t к расчетному сопротивлению R_2 , превышающих 1, номинальные напряжения $\sigma_n < \sigma_t$, то трубопровод, нагруженный только внутренним p_v и подгруженным p_n давлением остается в упругом напряженно-деформированном состоянии (I) по рис. 10.

$$\{\sigma_n, e_n\} < \{\sigma_t, e_t\}; e_t = \sigma_t / E; \sigma_n \leq \sigma_t / n_t; e_n \leq e_t / n_t \tag{9}$$

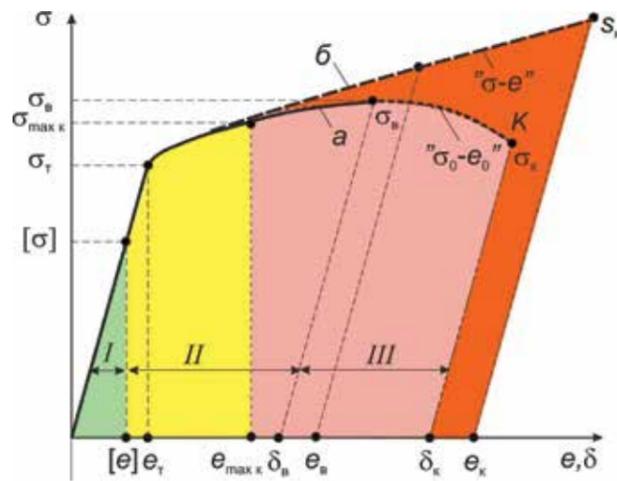
При поверочных расчетах с учетом всех компонентов напряженно-деформированных состояний в наиболее напряженных сечениях и точках по выражениям (4) - (8) для случая комбинированного нагружения

$$\sigma_{max} = F\{((p_v, p_n), N_x, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z)\} >> \sigma_n \tag{10}$$

Эти напряжения могут превосходить предел текучести σ_t . Если к ним добавляются напряжения σ_{kn} от концентрации и остаточные напряжения $\sigma_{ост}$ от сварки, то

$$\sigma_{maxk} = \sigma_{max} + \sigma_{kn} + \sigma_{ост} > (1.5/3.0) \sigma_t \tag{11}$$

В этом случае для зоны II в опасной зоне возникают упругие пластические деформации e_{maxk} (см. рис. 10) для диаграмм деформирования в условных « $\sigma_o - e_o$ » и истинных « $\sigma - e$ » координатах. Между величинами e_{maxk} и σ_{maxk}



$$n_e = e_b / e_T ((\sigma_T / \sigma_b) n_\sigma)^m > n_\sigma \quad (14)$$

После достижения деформаций e_b дальнейшее деформирование трубопроводов с образованием больших пластических деформаций идет по ослабленному сечению до разрушения в точке К зоны III при величинах истинных напряжений на уровне сопротивления отрыву S_k и предельных деформаций e_k в шейке [14].

$$e_k = \ln(1/1 - \Psi_k); S_k \cong \sigma_b(1 + 1.4 \Psi_k) \quad (15)$$

где Ψ_k - относительное сужение сечения образца в шейке.

Принимая справедливым степенной закон деформирования по (12) до разрушения, можно расчетом получить величину m

$$m = \lg(S_k / \sigma_T) / \lg(e_k / e_T) \quad (16)$$

Основные по (2), (3) и проверочные по (4) – (16) прочностные расчеты морских подводных трубопроводов завершаются обоснованным достижением требуемых по нормам запасов по напряжениям n_σ и деформациям n_e .

4.2. РЕСУРСНЫЕ РАСЧЕТЫ

Для объектов морского подводного и подледного технологического процесса добычи, обработки, хранения и транспортировки жидких и газообразных энергоносителей, как отмечалось выше, характерно значительное изменение временных t (до 50 лет и более) и циклических N (до 10^{12} циклов) показателей ресурса, долговечности и срока службы. Ресурсное проектирование, как второй основной этап создания и эксплуатации этих объектов по рис. 7 предполагает расчетный и экспериментальный анализ показателей t и N с учетом предварительного обоснования прочности с запасами по напряжениям n_σ и деформациям n_e .

Научное существо ресурсного проектирования [15 - 19] состоит в введении в указанные расчетные выражения факторов t, N , снижающих сопротивление разру-

по диаграмме деформирования в истинных напряжениях σ и деформациях « σ - e » справедлива степенная зависимость [14].

$$\sigma_{\max k} = \sigma_T (e_{\max k} / e_T)^m \quad (12)$$

где m – показатель упрочнения в упругопластической области ($0 \leq m \leq 1$).

При упругих деформациях ($e_{\max k} \leq e_T$) величина $m=1$ и $\sigma_{\max k} = E e_{\max k}$. В проверочных расчетах прочности с использованием (2) и (12) вводятся два запаса – по напряжениям n_σ и деформациям n_e

$$n_\sigma = \sigma_b / \sigma_{\max k}; n_e = e_b / e_{\max k} \quad (13)$$

где e_b – предельная равномерная (на стадии образования шейки в образце) деформация.

Для зоны II запас по деформациям

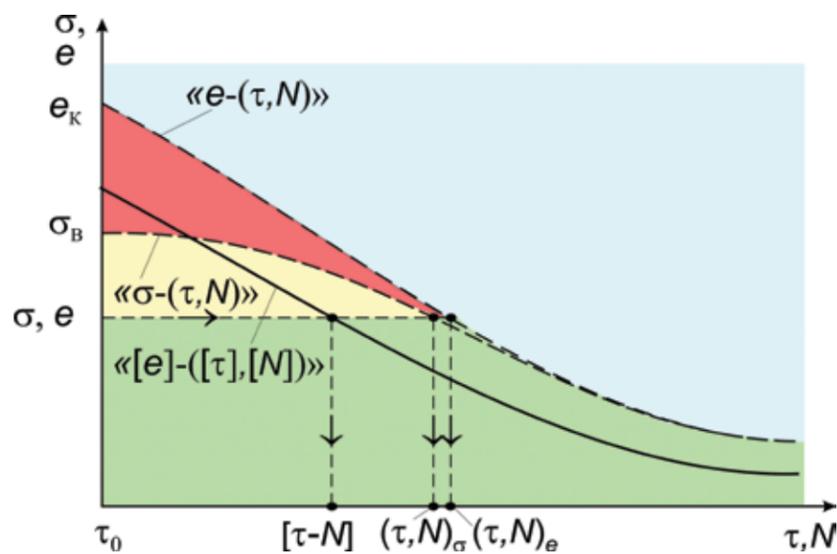


Рис. 11. Расчетные кривые длительной (t) и циклической (N) долговечности по критериям напряжений σ и деформаций e

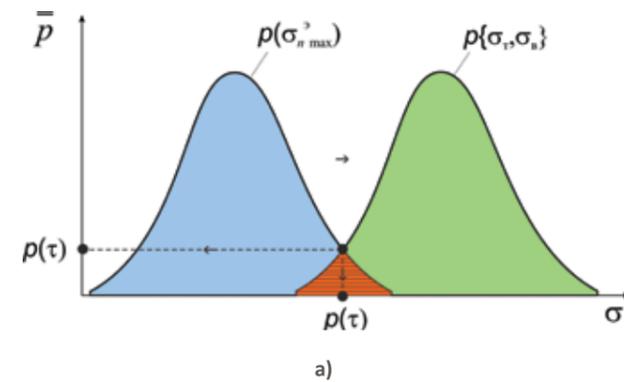


Рис. 12. Расчетные кривые длительной (t) и циклической (N) долговечности по критериям напряжений σ и деформаций e : разрушающие напряжения и деформации; допускаемые деформации $[e]$ и долговечности $[t], [N]$

шению по базовым характеристикам прочности (e_b, Ψ_k, e_k) и пластичности (σ_T, σ_b, S_k). На рис. 11 показаны кривые разрушающих (пунктирные линии) и допускаемых напряжений σ и деформаций e в зависимости от времени и числа циклов N .

С увеличением времени от начального t_0 , соответствующего длительности стандартных кратковременных испытаний трубных сталей на прочность при $t_0 = (1 \div 3) \cdot 10^2$ ч., в конструкционных материалах развиваются процессы диффузии, старения, деградации, коррозии с изменением (падением) не только прочности σ_b , но и пластичности Ψ_k, e_k . Это снижение при эксплуатационных температурах t^3 в интервале от -50 до $+50^\circ\text{C}$ идет более интенсивно в поверхностных слоях стенок трубопроводов. К настоящему времени в прямых экспериментах вариация времени до разрушения t_k достигает $10^3 \div 10^4$ ч., а по данным отдельных опытов – до $3 \cdot 10^5$ ч. [19, 20].

Как и для случаев высокотемпературной длительной прочности и ползучести [19, 21, 22], в ресурсных расчетах можно использовать степенные зависимости

$$\sigma_{Tt} = \sigma_T (\tau_0 / \tau_k)^{m_\sigma}; \sigma_{bt} = \sigma_b (\tau_0 / \tau_k)^{m_b}; \Psi_{kt} = \Psi_k (\tau_0 / \tau_k)^{m_\Psi} \quad (17)$$

где $\sigma_T, \sigma_b, \Psi_k, \sigma_{bt}, \Psi_{kt}$ - характеристики стандартных свойств при кратковременных статических испытаниях со временем τ_0 и при длительных испытаниях со временем τ_k ;

m_σ, m_b, m_Ψ - характеристики чувствительности сталей к временному фактору повреждения, определяемые экспериментальным расчетом [19].

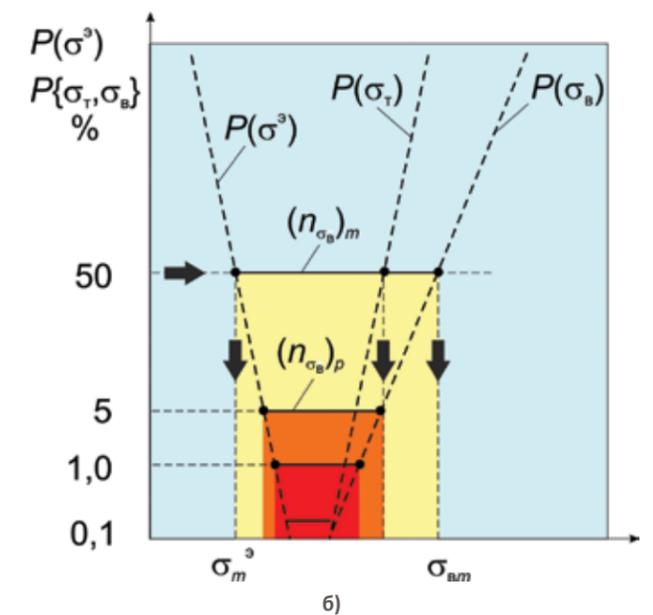
Для малоуглеродистых низколегированных трубных сталей показатель m_b находится в интервале $(5 \div 12) \cdot 10^{-3}$, $m_\sigma - (2 \div 5) \cdot 10^{-3}$, $m_\Psi - (2 \div 4) \cdot 10^{-2}$.

Если по (15) и (17) определить предельную пластичность e_{kt} и ввести запасы $n_{\sigma t}$ и $n_{e t}$ по (13), то можно построить кривую допускаемости деформаций $[e]$ и допускаемых временных долговечностей $[t]$ по временному и деформационному критериям

$$n_t = [t_k] / t^3; n_e = [e_k] / e^3 \quad (18)$$

При расчетах по (18) учитывается образование упругих $e_e^{(t)}$ и пластических $e_p^{(t)}$ деформаций

$$e(t) = e_e(t) + e_p(t) \quad (19)$$



Упругие деформации зависят от изменения напряжений $\sigma(t) = S_k(t)$ по (15)

$$e_e(t) = \sigma(t) / E = S_k (\tau_0 / \tau)^{m_e} \quad (20)$$

а пластические – от изменения предельной пластичности $\Psi_k(t)$ по (17), давая возможность оценивать истинную разрушающую деформацию $e(t)$ по (15)

$$e_k(t) = \ln[1 / (1 - \Psi_k(t))] \quad (21)$$

Показатель степени m_e превышает величину m_b в выражении (17) в $3 \div 4$ раза. Если в процессе эксплуатации морских подводных трубопроводов и объектов происходит повреждение антикоррозионных покрытий, то величины m_Ψ в (17) могут возрастать в $2,5 \div 3$ раза. В реальной эксплуатации, как правило, имеет место циклическое нагружение как от изменения во времени t внутреннего $p_b(t)$ и наружного $p_n(t)$ давления, так и от изменения всех силовых параметров $N_x(t), Q_y(t), Q_z(t), M_x(t), M_y(t), M_z(t)$ по рис. 10. В этом случае по спектрам нагружения подлежат определению исходные параметры циклического нагружения:

- число циклов нагружения $N(t)$, зависящее от времени t ;
- максимальные $\sigma_{\max}(t)$ и минимальные $\sigma_{\min}(t)$ циклические напряжения;
- максимальные $e_{\max}(t)$ и минимальные $e_{\min}(t)$ циклические деформации.

По этим параметрам определяются:

- амплитуды напряжений и деформаций

$$\sigma_a(t) = 1/2 (\sigma_{\max}(t) - \sigma_{\min}(t)); e_a(t) = 1/2 (e_{\max}(t) - e_{\min}(t)) \quad (22)$$

- коэффициенты асимметрии циклов напряжений и деформаций

$$r_\sigma(t) = \sigma_{\max}(t) / \sigma_{\min}(t); r_e(t) = e_{\max}(t) / e_{\min}(t) \quad (23)$$

По полученным амплитудам деформаций на основе (19) выделяют их упругие $e_{ae}(t)$ и пластическую $e_{ap}(t)$ составляющие. Для них по аналогии со степенными выражениями (17) записывают зависимости разрушающих амплитуд деформаций от числа циклов $N(t)$

$$e_{ae}(\tau) = C_e N(\tau)^{m_{Ne}}; e_{ap}(\tau) = C_p N(\tau)^{m_{Np}} \quad (24)$$

где $(C_e, m_{Ne}, C_p, m_{Np})$ – характеристики трубной стали, зависящие от прочности $\sigma_b(\tau)$, $S_k(\tau)$ и пластичности соответственно, определяемые экспериментально или расчетом.

Для широко применяемых трубных сталей с пределами прочности σ_b от 500 до 700 МПа можно принять величину m_{Ne} равной 0,1, а величину m_{Np} равной 0,5 для ψ_k в интервале 50 – 60%.

Параметры C_e и C_p принимаются равными S_k и e_k по (15) в предположении, что однократное статическое нагружение происходит при $N=1/4$ полного замкнутого нагружения. Тогда кривая циклического разрушения в широком диапазоне числа циклов $N(\tau)$ до 1010 по рис. 11 с учетом влияния асимметрии цикла будет записана [19, 20] в форме

$$e_{ak}(\tau) = 1 / ([4N_k(\tau)]^{m_{Np}} + (1+r_e)/(1-r_e)) \ln(1/(1-\psi_k(\tau))) + (S_k(\tau)/E) / ([4N_k(\tau)]^{m_{Ne}} + (1+r_e)/(1-r_e)) \quad (25)$$

Если по аналогии с (18) ввести запасы по числу циклов $N(\tau)$ и амплитудам деформаций

$$n_N = (N_k(\tau)) / (N^3(\tau)), n_e = (N_{ak}(\tau)) / (e_a^3(\tau)), \quad (26)$$

то можно построить кривую допускаемых амплитуд $[e_a(\tau)]$ и допускаемых долговечностей $[N(\tau)]$ – сплошная кривая на рис. 11.

4.3. РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ

В настоящее время и в перспективе рассмотренные выше прочностные и ресурсные расчеты становятся исходными в рамках риск-ориентированного подхода [2, 3] для морских подводных трубопроводов и объектов. Сложившаяся в нашей стране и за рубежом практика базируется на ряде методов обоснования безопасности по критериям рисков:

- построение пирамид и матриц рисков при расчетах безопасности;
- построение деревьев событий и деревьев отказов.

В качестве базового показателя рисков принимаются риски потерь человеческих жизней или риски (вероятности) возникновения предельно опасных чрезвычайных ситуаций. При использовании таких методов ключевое значение придается статистике анализа аварийности и травматизма на функционирующих объектах техносферы. В этом случае напрямую не используются методы прочностного и ресурсного проектирования по рис. 7 и затрудняется обоснованный выбор методов обеспечения и повышения безопасности. Более перспективным следует считать развитие риск-ориентированных расчетов на базе фундаментальных закономерностей процессов деформирования, повреждения и разрушения, лежащих в основе прочностных и ресурсных расчетов [18 – 20, 22, 23]. Научное существо предлагаемых риск-ориентированных расчетов сводится:

- к расчетно-экспериментальному исследованию и обоснованию и заданию плотности и функций распределения (рис. 11) параметров эксплуатационной нагруженности по параметрам напряжений $\sigma^2(\tau)$ или деформаций $e^2(\tau)$ в выражениях (17), (25);
- к экспериментальному изучению плотности и функций распределения сопротивления конструктивных трубных сталей разрушению $\sigma_b(\tau)$, $\sigma_t(\tau)$, $S_k(\tau)$, $\psi_k(\tau)$, $e_k(\tau)$ в выражениях (17), (25);

- к назначению и использованию традиционных запасов по напряжениям n_σ , деформациям n_e и долговечностям n_τ и n_N в выражениях (18), (26) при детерминированных нормативных расчетах;

- к допущению о справедливости нормального распределения характеристик эксплуатационной нагруженности и сопротивления разрушению.

На рис. 12,а показаны функции плотности вероятности $P(\tau)$ для максимальных эксплуатационных номинальных напряжений $P(\sigma_{\text{пmax}}^2)$ и для сопротивления деформации и разрушению $P(\sigma_\tau, \sigma_b)$. На рис. 12,б в нормальных вероятностных координатах по шкале ординат показаны функции вероятности $P(\sigma^2)$, $P(\sigma_\tau)$ и $P(\sigma_b)$, а по оси абсцисс – величины напряжений. Для вероятности $P=50\%$ определяется нормативный запас прочности $(n_{\text{об}})_m$ (по средним значениям) при детерминированном расчете. Если при риск-ориентированном проектировании определены другие значения указанных выше функций распределения, то расчеты могут проводиться при более низких запасах

$$(n_{\text{об}})_p < (n_{\text{об}})_m \quad (26)$$

В точке пересечения прямых $P(\sigma^2)$ с $P(\sigma_\tau)$ или $P(\sigma_b)$ получается расчетом вероятность разрушения P_k по квантилю

$$Z_p = (1 - (n_{\text{об}})_p) / (\sqrt{v_{\text{об}}^2 (n_{\text{об}})_p^2 + v_{\text{пmax}}^2})^2, \quad (27)$$

где $v_{\text{об}}$, $v_{\text{пmax}}$ – коэффициенты вариации для расчетных характеристик механических свойств $\sigma_b = \sigma_b(\tau)$ и максимальных эксплуатационных напряжений $\sigma_{\text{пmax}}$.

По выражению (27) при $n_{\text{об}} = 1,5$, $v_{\text{об}} = 0,067$ и $v_{\text{пmax}} = 0,141$ получим $Z_p = 2,89$; тогда на основе табулированных связей Z и вероятности расчетом будет определена $P_k(\tau) = 0,00193$. Такое разрушение является тяжелым по ущербам $U_k(\tau)$. Ущерб $U_k(\tau)$ определяется с учетом необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ и экономических потерь от загрязнения пораженной акватории и приостановки транспорта углеводородов. Для магистральных подводных трубопроводов величины ущербов $U_k(\tau)$ могут достигать 106 ÷ 107 долл. США. По показателям $P_k(\tau)$ и $U_k(\tau)$ расчетом определяется риск аварии

$$R_k(\tau) = P_k(\tau) U_k(\tau) \quad (28)$$

Для критических величин рисков $R_k(\tau)$ по аналогии с (2), (13), (18), (26) вводятся запасы n_R по расчетным эксплуатационным приемлемым рискам $[R(\tau)]$

$$n_R = (R_k(\tau)) / (R^3(\tau)); [R(\tau)] = (R_k(\tau)) / (n_R); n_\sigma < n_R < n_\tau < n_N \quad (29)$$

По величинам расчетных рисков $R^3(\tau)$ и $[R(\tau)]$ оценивается безопасность морских подводных трубопроводов и объектов

$$S(\tau) = [R(\tau)] - R^3(\tau) \quad (30)$$

Условию $[R(\tau)] > R^3(\tau)$ по (30) соответствует расчетное обоснование $S(\tau) > 0$. При $S(\tau) < 0$, когда безопасность по критериям рисков не обеспечена, необходимо проведение специальных комплексных мероприятий до достижения приемлемых рисков $[R(\tau)]$.

4.4. КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ, ЦИФРОВОЙ И ИСКУССТВЕННО-ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В соответствии с рис. 8 в ближайшей перспективе 2025-2035 гг. при реализации государственных стратегий, концепций, доктрин по рис. 4 для морских подводных, подледных трубопроводов и объектов по схемам рис. 9 потребуются согласование, развитие и совершенствование комплексных методов определения и нормирования:

- аналитических при проведении основных и поверочных расчетов по всей системе выражений (1) – (30);
- экспериментальных при определении расчетных характеристик механических свойств $(\sigma_\tau, \sigma_b, \psi_k, S_k)$ и их изменения во времени для всех стадий жизненного цикла, а также при определении спектров экстремальных нагрузок $N_x(\tau)$, $Q_y(\tau)$, $Q_z(\tau)$, $M_x(\tau)$, $M_y(\tau)$, $M_z(\tau)$;
- цифровых при решении краевых задач по определению эксплуатационных напряженно-деформированных состояний « σ – e », « σ_k – e_k », « $\sigma^2(\tau)$ – $e^2(\tau)$ ».

Технологии искусственного интеллекта приобретает всё большее значение, когда при проектировании и расчетах возникают повышенные уровни неопределенностей:

- отсутствуют статистические данные о сценариях развития аварийных и катастрофических состояний;
- ограничена информация о проектных, запроектных и гипотетических опасных ситуациях с учетом природных, и антропогенных факторов повреждения и поражения;
- отсутствует или ограничена информация о глобальных изменениях климата и природной среды.

В этом случае необходим переход к многокритериальному и многофакторному математическому моделированию с научно обоснованным снижением доли физического моделирования.

Межведомственный экспертный совет предполагает провести систематическое обсуждение в 2025 – 2026 гг. указанных проблем во взаимодействии с Научным советом при Совете Безопасности Российской Федерации, с Комиссиями и Советами Российской академии наук, структурами Морской коллегии, Морского регистра, Ростехнадзора, Росприроднадзора, Государственных корпораций и соответствующих Публичных акционерных обществ, ведущими НИИ и вузами страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Российской Федерации (в редакции 01.07.2020 г.).
2. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. №400).
3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. №145.
4. Национальные цели развития Российской Федерации на период до 30 года и на перспективу до 2026 года. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. №309.
5. Морская доктрина Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 31.07.2022 г. №512.

6. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2019 г. №1930-р.

7. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2025 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. №645.

8. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. №1523-р.

9. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. №1523-р. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. №3363-р.

10. Лепихин А.М. Разработка нормативно-методических документов обоснования безопасности морских подводных трубопроводов. Морская наука и техника, 2023, №9, стр. 44-49.

11. Бюллетень информационно-аналитических материалов о безопасности подводных трубопроводов. - М.: МЭС, 2023, №1, стр. 47.

12. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Создание научной информационной базы Межведомственного экспертного совета морских подводных трубопроводов и сооружений. Морская наука и техника, 2024, №12, стр. 28 – 34.

13. Шмаль Г.И., Тимашев С.А. Первоочередные безотлагательные задачи создания норм проектирования и эксплуатации безопасных морских подводных трубопроводов России. Морская наука и техника, 2024, №12, стр. 14 – 18.

14. Методические указания СТП-МЭС04-005-20023. Морская наука и техника, 2023, №9, стр. 64 – 79.

15. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. – М.: ИЦ «Елима», 2004. - 1104 с.

16. Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства. СП 378.1325800. 2017.

17. Правила классификации и постройка морских подводных трубопроводов. НД №2-020301-007.

18. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Лещенко В.В., Шмаль Г.И. Проблемы безопасности морских подводных трубопроводов. Морская наука и техника, 2022, №5, стр. 33 – 37.

19. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск: Наука, 2008. – 528 с.

20. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 516 с.

21. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1977. – 383 с.

22. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. – М.: МГОФ «Знание», 1998 – 2024. т.1 – 70.

23. Махутов Н.А. Комплексность запасов в прочностном, ресурсном и риск-ориентированном обосновании бести опасных производственных объектов. Безопасность труда в промышленности, 2025, №1, стр. 7 – 14.

«НЕОБХОДИМО СОЗДАВАТЬ ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ, ДЕЛАТЬ ГОСТЫ, ТРЕБОВАНИЯ»



Геннадий Иосифович Шмаль, Председатель Союза нефтегазопромышленников России, Эксперт МЭС по безопасности МПТ и объектов

Геннадий Иосифович, добрый день! На предстоящем совещании будет обсуждаться тема взаимодействия МЭС с государственными структурами, в частности с Морской коллегией Российской Федерации. Скажите, пожалуйста, как вам видятся данные взаимодействия?

Говоря сегодня о том, как должен работать наш межотраслевой совет, а он уже активно работает и дает рекомендации. Но на сегодняшний день самая большая проблема, это нормативно-правовая база.

Когда мы говорим о том, как сегодня нашему обществу действовать, я считаю, что сама Морская доктрина и Морская коллегия, они так специально

и глубоко не вникали в проблемы, которые у нас существуют. А, нужно бы, в том числе и наше мнение: «Что такое, сегодня, платформа?», платформа, которая подчиняется морскому регистру. Причём здесь РМРС, это неправильно, платформа не плавучая. Платформа — это изделие полной заводской готовности, соответственно к нему должны быть применены те требования, которые применяются, именно, к промышленному изделию. Поэтому, есть масса проблем, которые требуют обсуждения и действий. Наша коллегия, в том числе Владимир Александрович Надеин, давно уже об этом говорит, но не можем убедить. Поэтому нашу платформу сравнивают с кораблём или с подводной лодкой.



Считаю, что одна из задач, которая стоит перед нашим советом – выстроить деловые отношения с Морской коллегией. Было время, когда и я входил в её состав, лет десять назад. Обсуждались тогда вопросы, которые касались наших дел, а сегодня вопросы, связанные с добычей, транспортом, наших нефтегазовых ресурсов, прежде всего, они как-то находятся в стороне от внимания Морской коллегии, а это неправильно, так как рано или поздно мы должны будем более активно осваивать наш арктический шельф.

Я не говорю о том, что мы, сегодня, должны заниматься добычей нефти, к этому мы придём, наверное, не скоро. По моей оценке, лет тридцать нам не надо лезть на арктический шельф с большими добычами. Во-первых: нет оборудования, которое могло бы надёжно работать, а я считаю, что оборудование должно быть надёжным на 99,9%, тогда можно говорить о дальнейших действиях. Мы не имеем права допустить никакой аварии, подобной той, которая была в Мексиканском заливе. Во-вторых: нормативная база. В этом отношении, думаю и есть задача нашего отраслевого совета, инициировать, повлиять на необходимое создание таких документов.

У нас есть «Росстандарт», который обязан за этим делом следить, компании, которые должны сами выходить с предложениями. Понимаю, что Морская коллегия не будет самостоятельно заниматься этим делом. Так как у неё специалистов таких нет, и это не её профиль. Но компании, которые собираются рано или поздно выходить в работу на шельфе или даже морские глубины, должны сами думать о создании таких документов и решениях целого ряда других вопросов.

С полным основанием могу сказать и многие эксперты, которые занимаются этим делом, меня поддержива-

ют. Сегодня ни один проект для работы на арктическом шельфе, не будет рентабельным. Так, кто же полезет туда себе в убыток? Значит, и этот факт надо иметь в виду. Должен быть совершенно иной механизм налоговый и т.д.

Для того чтобы осваивать шельф в серьёз, за это дело надо браться, уже сегодня основательно, ответственно. Ещё раз подчёркиваю, в ближайшие тридцать лет мы не выйдем туда, но начать нужно сейчас, иначе мы опоздаем. Здесь целая куча проблем: какие стали нужны в тех условиях? Мы, до сих пор, не имеем техники в северном исполнении. «Komatsu» может работать при температуре -50°C, а наши трубоукладчики и краны нет.

Эти вопросы касаются Арктики в целом и Антарктики, на которую мы тоже когда-нибудь пойдём. Всё это те вопросы, которые необходимо решать. Конечно же, Морская коллегия не может ими всеми заниматься, но инициировать рассмотрение, создание рабочих групп – может и должна.

Сегодня много говорится о проблемах и вопросах технологического суверенитета. А, что это такое? Кто-то вникнул глубоко в эту проблему? Если речь идёт о какой-либо железке зарубежной и её замене, проблемы нет, можем заменить. А голову то, как заменить? У нас с вами были потрясающие, интересные инженерные, научные школы. По самым разным направлениям, в том числе добыче нефти, газа. Кто придумал первый трубобур? - Мы, в Советском Союзе. Кто придумал наклонное направление? - Мы, в Советском Союзе., в Западной Сибири. Кто придумал горизонтальное бурение? - В России. Кто придумал метод ГРП (гидроразрыв пласта), который сегодня используется, очень широко, американцами? Это наше всё дело!

А где сегодня эти школы? Где отраслевая наука? И



большая наука, перестала заниматься теми проблемами, которые были. Вы знаете, когда меня спрашивают, за счёт чего мы сумели, так быстро решить проблему и создать уникальный народно-хозяйственный комплекс в Западной Сибири, отвечаю – много факторов. Но, один из них, опора на науку. Потому, что рядом с нами было Сибирское отделение Академии наук и благодаря тому, что там были такие выдающиеся люди, академики: Трофимук А.А., Аганбегян А.Г., Лаврентьев М.А., Контарович А.Э., и многие другие. Мы сумели, опираясь на них, многие вопросы решить очень быстро. И, не случайно, мы вышли за несколько лет на уровень добычи в 415 мил. тонн в год, только в Западной Сибири. На то время, ни одна страна в мире не добывала столько. А, мы смогли, в одном регионе это сделать. Наука! Без опоры на науку мы не сможем серьёзно подойти к освоению многих наших морских территорий.

Сейчас наука, не в полной мере, но повернулась лицом к проблеме. Было время, по словам одного академика, что 30 лет Академия отлучали от науки, к сожалению, так получилось. А в наше время – Академия наук была истиной и последней инстанцией. Считаю, что и дальше надо, чтобы Академия наук их большие и малые институты брали в разработку многие вопросы, особенно острые. И в принципе, силы для этого есть. Что-то утратили, а кое-что можно ещё вернуть. Поэтому, полагаю, что это также одна из задач Морской коллегии.

Надобно поправить Морскую доктрину в отношении

морской деятельности. Видимо, тогда об этих вопросах не говорили, поэтому в доктрину они и не попали. Повторюсь, рано или поздно пойдём на арктический шельф, поэтому надо этим вопросом заниматься уже сегодня. Также самое касается разработки нормативно-правовой документации, самой разной. Внимательно посмотреть, а что у нас случилось с техническими регламентами Таможенного союза? Против некоторых из которых мы выступали очень резко, так как они не учитывали нашу специфику, наши просьбы, наши предложения. Надо вернуться к этому делу! Это, как раз, та тема, которая под силу и Морской коллегии и нашему межотраслевому совету.

Геннадий Иосифович, Вы затронули тему отраслевой науки. В Астрахани сейчас создаётся научный кластер. С Вашей точки зрения, такие кластеры необходимы в каждом регионе?

Нет, это не обязательно. Конечно, есть специфика. Астрахань – своя проблема, газ, который там есть, имеет огромное количество сероводорода и другие проблемы есть, а в Западной Сибири другие вопросы.

Например, в той же Тюмени научно-проектный институт «ГипроТюменнефтегаз», он и сейчас существует. Было время, когда это был один из самых крупных научно-проектных институтов страны, пожалуй, только «Гидропроект» был больше него, потому как велись огромные объёмы работ, которые необходимо было выполнять: строительные, проектные и технологические. У газовой

отрасли был тоже свой научно-исследовательский институт «ТюменНИИГипрогаз», который занимался проблемами разработки газовых месторождений. Они находятся ближе, соответственно понимают больше.

Недавно рассказывал, когда начиналось освоение Самотлорского месторождения, приехал Шашин Валентин Дмитриевич – министр нефтедобывающей (1965-1970), затем нефтяной промышленности СССР (1970-1977), которого я очень уважал и считаю, что это идеал министра. Приехал с группой учёных, на Самотлорского месторождение со своими решениями. НИИП «ГипроТюменнефтегаз», предложили свой вариант, на тот момент главным инженером, которого был Коган Я.Э. Обсудили и постановили оставить разработки министра. Шашин В.Д. вернулся в Москву, а через короткое время вызвал тюменцев к себе. Снова прошлись по всем кабинетам и снова подтвердили принятое решение. Но, каково было удивление ребят, когда спустя неделю по их возвращению, получают приказ, где были поддержаны все их предложения. То есть люди, которые сидят там на местах, они лучше ощущают и понимают проблему. Ну, и конечно, это надо быть Шашиним В.Д., таким министром, который не смотря на свой апломб, всё же принял решение, которое не совпадало с его точкой зрения. Вот, такие министры нам нужны и сейчас, чтобы они могли глубоко вникнуть в проблему.

На сегодняшний день от отраслевых институтов, тех, которые ещё остались объединил Сечин И.И. в «ПАО «Ростнефть». Они занимаются решением его проблем, а кто же будет решать других? У нас, слава Богу много добывает «Ростнефть», но не всю же нефть, примерно 45%, а что на счёт других 55%? Поэтому, конечно, отраслевая наука должна быть.

Были институты, которые занимались нефтеотдачей пластов, не случайно специальная программа была. У нас тогда КИН (коэффициент извлечения нефти) был более 40%, а сейчас менее 30%, а это от того, что наука отстает от всех этих дел. А, что касается Севера, Арктики, то тут, совершенно, без науки никуда. Мы мельком коснулись с вами этой темы, а меня очень беспокоит проблема, связанная с нашей Арктической зоной. Мы строили исходя из того, что вечная мерзлота будет вечной. Сегодня имеет место быть «растепление», отсюда и устойчивость объектов, которые мы строили под угрозой. Например, Уренгойское газопромысловое управление, а что такое УГПУ-это самый сложный технологический комплекс, огромный завод в несколько гектаров в тундре. Как его сохранить? Да, он прослужит ещё определённое время, может 40-50 лет. Но надо думать на перспективу. Как нам решить проблему сохранения или думать о том, что нужно изменить, как преобразовать эти установки в более лёгкие? Загадывать не будем. Наука должна дать ответ на данный вопрос. Здесь, конечно, без серьёзного участия РАН, всех учёных, институтов – мы не двинемся никуда.

Геннадий Иосифович, что Вы думаете о нашей подводной инфраструктуре, которая на сегодняшний день есть?

Необходимо создать технический регламент, делать ГОСТы, требования. У нас есть небольшой опыт подводной добычи – Кириновское месторождение на Дальнем Востоке, но это, пока, единственный случай. Нужен серьёзный подход, хотя бы с точки зрения того же оборудования, которое мы не знаем, как будет себя вести в морской среде (соль, коррозии). Поэтому, конечно, надо производить научные исследования, сейчас. А тем более,

Необходимо создать технический регламент, делать ГОСТы, требования. У нас есть небольшой опыт подводной добычи – Кириновское месторождение на Дальнем Востоке, но это, пока, единственный случай. Нужен серьёзный подход, хотя бы с точки зрения того же оборудования, которое мы не знаем, как будет себя вести в морской среде (соль, коррозии). Поэтому, конечно, надо производить научные исследования, сейчас. А тем более, что рано или поздно, мы пойдём активнее на морские подводные добычные комплексы, которые сегодня разработаны. И также ситуация, надо создавать нормативно техническую документацию, проекты и т.д.

что рано или поздно, мы пойдём активнее на морские подводные добычные комплексы, которые сегодня разработаны. И также ситуация, надо создавать нормативно техническую документацию, проекты и т.д.

Председатель нашего Межведомственного экспертного совета, Николай Андреевич Махутов – большой специалист по вопросам риск-ориентированного подхода. Вот, тут и надо, уже сегодня закладывать всевозможные риски. Есть и ряд других проблем. В том числе и охрана наших объектов, от всех событий, которые мы имеем с вами. На Северных потоках – диверсии, работа беспилотников, которые могут в любой момент навредить и вывести из строя, фактически, любую технику. В данном направлении, мы даже не подошли к вопросам: а как нам защитить наши объекты от таких диверсий?

Сегодня это Украина или ещё кто, но ведь не только они, думаю, есть те, кто заинтересован навредить нам, те же некоторые, определённые, европейские политики. Вот вам и большая серьёзная работа. Не знаю, что здесь можно придумать, постоянное слежение, контроль. Заграждений там не поставишь, тем более под водой. Так что, вопросов, которые возникают на сегодняшний день, к большому сожалению, много.

Даже, сейчас, обсуждая «Энергостратегию 2050» там, совершенно, не нашлось ответов, на те вопросы, которые мы сами подняли: морской добычи, безопасности на море и т.д. Следовательно, это и есть те вопросы, которые нам с вами предстоит дорабатывать. Считаю, что было бы не плохо, на очередном Межведомственном экспертном совете обсудить эту тему, вопросы и проблемы, связанные с ней.

Шеф-редактор Андрей Пащенко

ПРИМЕНЕНИЕ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (НПА) ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОДВОДНЫХ РАБОТ ПО ПОИСКУ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Авторы: Голядкина С.С. – Генеральный директор ООО «Шельфтехносервис», аспирант РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

д.т.н. Харченко Ю.А. – д.т.н. Харченко Ю.А. – профессор Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ) имени С. Орджоникидзе.

Одним из важных этапов инженерных изысканий при проведении строительно-монтажных работ на морских акваториях является комплекс работ по поиску и обезвреживанию затопленных взрывоопасных и других техногенных объектов. Поиск таких объектов, затопленных во время и после Второй мировой войны, до сих пор остается серьезной проблемой при отсутствии четких привязок к береговым ориентирам. Наибольшую сложность представляют поисковые работы в открытом море, подразумевающие обследование больших площадей донной поверхности с перепадами глубин.

Затопленные взрывоопасные предметы находятся в большинстве случаев в разных условиях: одни погребены под многометровым слоем ила, другие чуть прикрыты осадками, третьи легли на каменистое дно прибрежных шельфов [1].

Места затопления кораблей и судов, захоронения боевых взрывоопасных объектов (мины, торпеды, глубинные бомбы, артиллерийские снаряды, авиационные бомбы) неизвестного происхождения и состояния относятся к зонам особо опасных природно-техногенных комплексов на дне морей, зонам отчуждения, для кото-

рых прогнозируется возможность чрезвычайных ситуаций [1]. Очистка местности (объектов) и акваторий от взрывоопасных предметов (ВОП) осуществляется в целях обеспечения полной безопасности производственных работ и жизнедеятельности людей.

В 2015–2017 гг. такие поисково-очистные мероприятия (ПОМ) проводились в Керченском проливе и на побережье Крыма (порт Феодосия). Для Черного моря, ставшего ареной двух мировых войн, и являющим в настоящее время стратегически важным транспортно-логистическим узлом для России, выполненные работы особенно актуальны [2]. Кроме того, в критической близости к Керченскому проливу находятся районы летнего отдыха федерального значения. Главной целью ПОМ стал поиск подводных потенциально опасных объектов (ППОО) различных размеров и форм, точечных или линейных, отличимых на фоне подстилающей поверхности рельефа морского дна с помощью телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА), а также мониторинг загрязнения акватории тяжелыми металлами и нефтепродуктами. В настоящее время, в связи с крушениями в декабре 2024 г. двух танкеров с мазутом, в этом

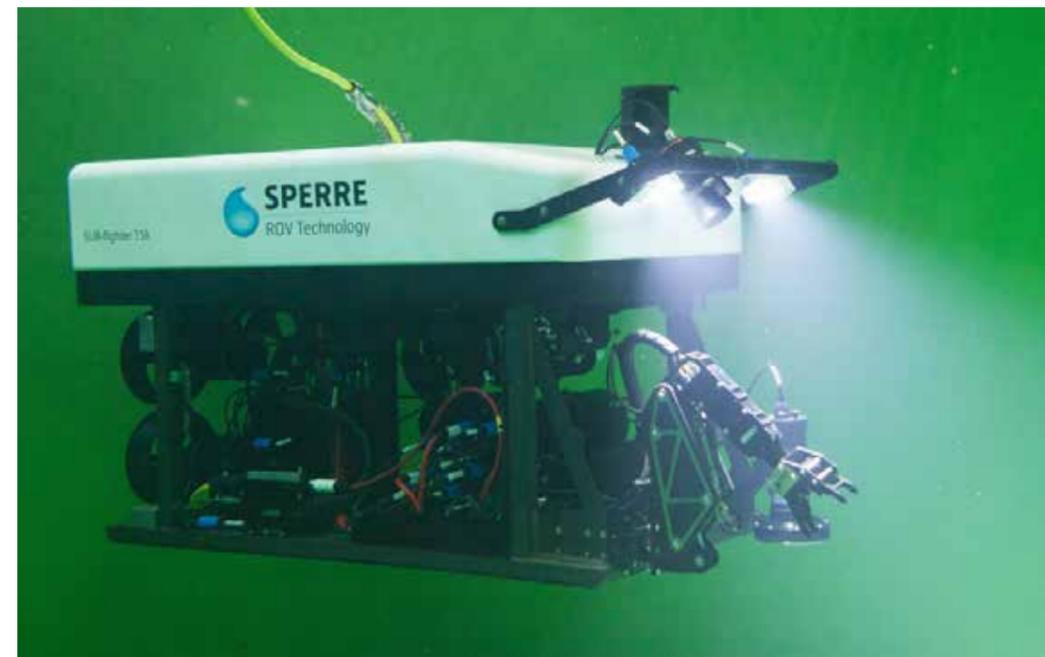


Рис.2. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат SperreSUB-fighter15K.

районе проблема проведения подводных обследований с целью мониторинга загрязнения акватории нефтепродуктами стала чрезвычайно актуальной.

Во время осуществления работ для района поисков ППОО были характерны следующие условия: распространение специфических грунтов (илы); сложные экологические условия (наличие участков распространения промысловых пород рыб и других морских биоресурсов); наличие опасных инженерно-геологических явлений и процессов (диапиризм, береговая абразия, денудация, перенос и аккумуляция осадков, размыв дна и т.д.), интенсивное судоходство (рекомендованные пути движения судов); наличие зон рыболовства с использованием рыболовных тралов и др. Таким образом, район проведения исследований хотя и был открыт для посещения но был ограничен для использования акваторий.

Для выполнения полевых поисковых работ на глубинах от 15 до 200 м в соответствии с требованиями технического задания был привлечен многофункциональный научно-исследовательский катамаран «Бриз» (рис. 1).

Объем выполняемых мероприятий на каждом этапе зависел от типа поднимаемого объекта, его технического состояния, степени радиоактивного загрязнения, условий затопления, в первую очередь глубины, степени воздействия гидрометеорологических факторов и удаленности от береговых пунктов. Важнейшее значение имел правильный выбор технологии, которая по возможности должна была задействовать существующие и широко применяемые на практике технические средства, эксплуатируемые опытными специалистами.

На первом этапе работ поиск подводных объектов осуществлялся при помощи гидролокации и магнитометрии. Но, как показала практика, эффективное обследование районов предполагаемого наличия ППОО стало возможным только при комплексном использовании дистанционных технических средств обнаружения, а также современных методов изучения рельефа дна,

грунта и других физических полей Мирового океана [69].

В связи с этим на втором этапе поисковых работ были проведены дополнительные детальные обследования дна в местах магнитных аномалий малогабаритным ТНПА стандартного типа Remotely Operated Vehicle (ROV) Sperre SUB Fighter 15K (рис.2). С его помощью были выполнены гидролокационная съемка поверхности дна, промер глубин, измерение скорости и направления течений, отбор проб воды и грунта и т.д. Эксплуатацию ROV и выявление особенностей его работы проводили в режиме ходовых испытаний с учетом ранее полученного опыта [2].

При обнаружении целей с использованием ROV судно удерживалось на расстоянии 40-60 м от выбранной цели, а сам аппарат двигался со скоростью не более 0,93 км/ч (0,5 узла) по произвольному маршруту, осматривая выбранную цель и прилегающую поверхность со всех сторон.

ТНПА рабочего класса «SF-15K» (Sperre SUB Fighter15K) (Рис. 2) обеспечивает: обнаружение ПО с помощью гидролокатора кругового обзора и 3-х сенсорного магнетометра; передачу цветного и черно-белого видеоизображения на судно-носитель для его последующей записи системой цифровой регистрации (DVRS) в зависимости от установленного на ТНПА навесного оборудования; захват и подъем небольших предметов с помощью 5-ти степенного манипулятора Hydro-LekHLK-TN5; отбор проб донных отложений; отбор проб воды в 2-х горизонтах: приповерхностном (0,3 м от поверхности воды) и придонном (0,5 м от дна); измерение гидрологических параметров воды.

В ходе мобилизации на борту ТНПА были установлены дополнительные для подводного позиционирования системы: GPS-компас Trimble SPS 351, датчики температуры, давления и электропроводности воды, датчик метана, профилограф, флюорометр, автономный маг-

Рис.1. Многофункциональный катамаран «Бриз»



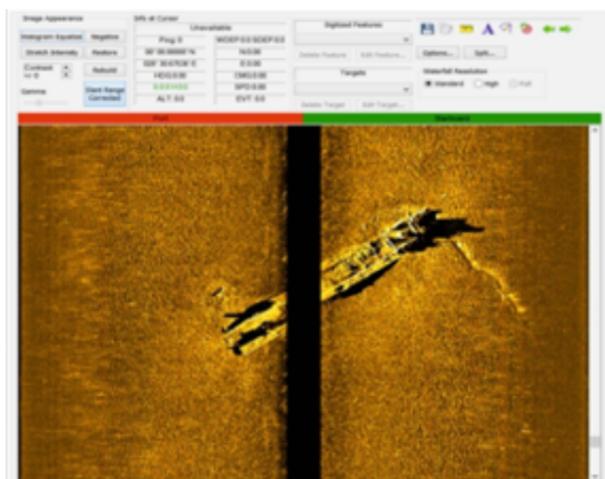


Рис. 3. Пример регистрации данных ГЛБО при обнаружении фрагментов корабля в ПО SonarPro на площадке №2.

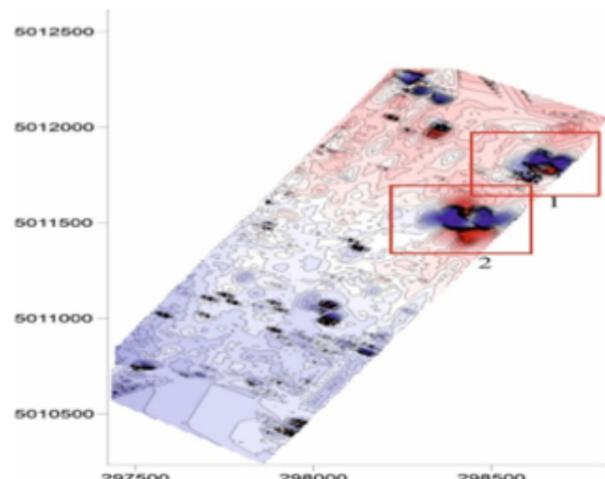


Рис. 4. Карта магнитных аномалий. Площадка №2

нитометр, спектрограф, система подводного позиционирования TrackLink 1500 MA. (Приемо-передающая антенна была установлена с левого борта на жестком креплении). Маяк-ответчик свешивался с судна на тросе на глубине 7 м с пеленгом относительно антенны в 0°, 90° и 180°, производился сбор данных из системы USBL о пеленге на датчик с помощью ПО IOTester). Для отображения, обработки и сбора всех данных использовалось ПО QPS QINSy (HASP key 514905, 514906).

С целью обнаружения и картирования ППОО в пределах изучаемых площадок были проведены геофизические работы методами магнитометрии и гидролокации бокового обзора (ГЛБО) по заранее запланированным прямолинейным профилям. Съёмка ГЛБО проводилась буксирным гидролокатором Klein 3900. Глубина буксирования гидролокатора составляла около 5 м от уровня моря. Контроль глубины буксировки, а также сбор, визуализация данных и навигация осуществлялся через ПО Sonar Pro. Спуск гондолы гидролокатора производился заблаговременно до начала профиля. ГЛБО проводилось на скорости судна не более 3,5 – 4 узлов.

Для проведения магнитной съёмки использовался буксирный магнитометр Sea SPY 1000m. Глубина буксировки гондолы составляла в среднем от 4 до 7 м над рельефом дна и выбиралась исходя из параметров предполагаемых целей геофизических работ и безопасности буксирования гондолы. Длина кабеля равнялась 60 м. Магнитометрия проводилась параллельно с ГЛБО, что позволяло следить за рельефом дна и также обеспечивать безопасность буксировки магнитометра. Связь гондолы с ПК оператора осуществлялась через трансивер, последовательно включенный между ПК и кабелем. Визуализация и регистрация данных проводилась в ПО BOB. По результатам обработки и интерпретации данных съёмки ГЛБО были построены сонограммы и карты магнитных аномалий. На картах магнитных аномалий выделяются локальные зоны дипольных аномалий, которые возможно связаны с техногенными источниками и в дальнейшем могут рассматриваться как области затопления ППОО. Также были выделены зоны и объекты, представляющие интерес, как ППОО. На сонограммах достаточно четко выделяются области с фрагментами военных кораблей (рис. 3).

В ходе интерпретации на картах аномалий магнитного поля выделяются протяженные зоны отрицательных и положительных аномалий изометричной формы, скорее всего имеющие геоморфологическую природу. Например, на площадке № 2 были проведены дополнительные обследования дна в местах магнитных аномалий телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом, которые показали присутствие каких-либо техногенных объектов на изучаемой площадке. (Рисунок 4).

По итогам комплексной интерпретации по двум геофизическим методам было обнаружено большое количество техногенных объектов, четыре из них идентифицированы как военные корабли. Информация о местах нахождения трех из них была ранее известна. Однако, четвертый корабль был обнаружен впервые, и по предварительной оценке – это может быть десантная баржа времен II Мировой Войны, затонувшая в ходе бомбардировок. При проведении исследовательских работ была произведена попытка обследования обнаруженного корабля водолазами. Но в связи с крайне низкой прозрачностью воды у дна дополнительных сведений получить не удалось. Обнаруженные объекты по двум геофизическим методам были собраны в общий каталог.

Дополнительной целью работ совместно с компанией «Черномор-ХО» являлось определение наличия (отсутствия) отравляющих веществ кожно-нарывного действия и специфических продуктов их разложения (маркеров) в пробах с территорий потенциально опасных объектов Черного моря. Потенциально опасными, с экологической точки зрения, следует считать объекты, в границах которых, начиная с 1941 г., могло затопляться химическое оружие.

Таким образом, на каждой из площадок на участках, определяемых по результатам интерпретации геофизических данных, производился отбор проб донного грунта специальной гравитационной трубкой с керноприемной частью длиной 50 см. Пробы воды отбирались с придонного горизонта при помощи батометра.

На площадках, на которых отсутствовали по данным геофизики аномальные объекты, пробоотбор осуществлялся по 5 точкам, 4 из которых располагались по периметру площадки, пятая – в центре. В случае отсутствия дисперсного грунта на дне, брали только пробу воды.

Было исследовано 18 точек, из них для 8 точек взяты образцы грунта и воды, для 6 – только грунт, для остальных 4 точек – только образцы воды. Пробы были отправлены на анализ в ФГБУ «27 Научный Центр» Министерства обороны РФ и лабораторию геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Результаты анализов свидетельствуют, что в исследованных 5 пробах воды и 4 пробах донных отложений отравляющие вещества кожно-нарывного действия (иприт, люизит) не обнаружены.

Но в ходе анализов 4-х проб донных отложений в каждой из них обнаружен специфический продукт разложения иприта – тиодигликоль в концентрациях: проба «2» – 0,21±0,03 мг/кг; проба «5» – 0,20±0,03 мг/кг; проба «11» – 0,041±0,006 мг/кг; проба «16» – 0,023±0,004 мг/кг. Тиодигликоль является стойким продуктом трансформации иприта и включен в список химикатов Конвенции о запрещении химического оружия [3].

Содержание мышьяка в пробах донных отложений составило: проба «2» – 6±3 мг/кг; проба «5» – 7±3 мг/кг; проба «11» – 5±3 мг/кг; проба «16» – 6±3 мг/кг. Указанные значения свидетельствовали о том, что в данных пробах донных отложений значение ПДК мышьяка (2 мг/кг) превышено в 2-3 раза.

Концентрация тяжелых металлов не превышала опасного уровня.

Предварительная набортная обработка всех полученных данных выполнялась с целью контроля качества на отсутствие недопустимых шумов и искажений, а также для контроля полноты данных, то есть плотностью данных, корректностью выбора параметров съёмки, отсутствия пропусков в покрытии.

В пределах рейда порта Феодосия было проведено обследование затонувшего корабля «Жан Жорес». По итогам работ установлено: судно лежит на глубине 16 м носом к берегу, носовая часть от носа до рубки корабля завалена на правый борт, а кормовая часть от рубки до пятого трюма завалена на левый борт, на палубе от рубки до кормы разбросаны минометные мины калибра 120 мм, снаряды 150 мм, снаряды 45 мм. В общей сложности порядка 100-120 шт.

В период с 26 октября по 29 октября 2015 г. в заключение второго этапа был организован подъем и утилизация обнаруженных боеприпасов с затонувшего судна «Жан Жорес» силами водолазов ФБУ «Морспасслужбы Росморречфлота» и участием специалиста 68-го Отдельного морского инженерного полка.

Были подняты: противотанковые авиационные бомбы калибр 10 мм – 23 единицы; артиллерийские снаряды калибра 152 мм – 14 единицы; артиллерийские снаряды калибра 45 мм – 71 единица. Итого: 108 единиц боеприпаса. Категория степени опасности ВОП-1. (Рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В районах исследуемых площадок Керченского пролива и акватории порта Феодосия выявлено большое количество техногенных объектов, среди которых фрагменты четырех затопленных судов, однако, детальное изучение некоторых из них было затруднено в связи с низкой видимостью в придонном слое. О наличии одного из обнаруженных судов ранее не было известно (на морских картах).
2. В результате комплексного анализа полученных данных, в том числе лабораторных исследований

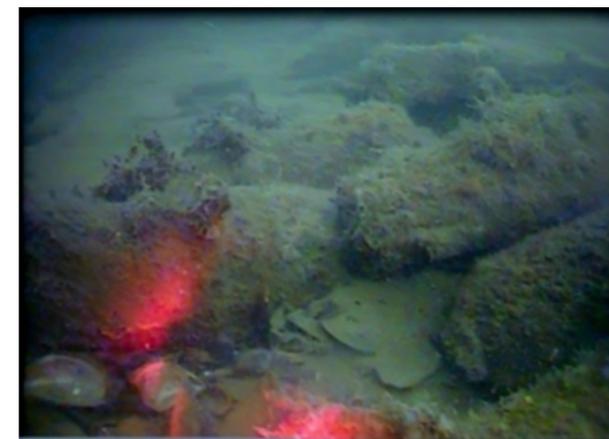


Рис. 5. Боеприпасы. Снаряды 120 мм калибра

отобранных образцов проб донного грунта и воды, на предмет наличия боевых ОВ и других загрязнений, не выявили наличие следов ОВ, а также показали, что концентрации тяжелых металлов не достигают значений, требующих вмешательства. В связи с чем проведение продолжительного химического мониторинга окружающей акватории до 2024 г. было нецелесообразно

3. В реестр ППОО внесены фрагменты затопленных судов как места возможного нахождения ХОВ и ВВ.
4. Проведено подробное, в том числе, водолазное обследование грузового теплохода «Жан Жорес». Боезапас, находящийся на его палубе, был частично поднят в количестве 108 единиц и передан для утилизации.
5. Эффективное обследование районов предполагаемого наличия потенциально опасных техногенных объектов возможно при комплексном использовании дистанционных технических средств обнаружения, а также современных методов изучения рельефа дна, грунта, магнитных и гравитационных аномалий в районе поиска.
6. Опыт, полученный при проведении специальных подводных работ по поиску и подъему взрывоопасных предметов (ВОП) в 2015-2017 г.г. в Керченском проливе целесообразно использовать при организации мониторинга экологического состояния акватории Черного моря, прилегающей к району крушения танкеров с мазутом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нерсесов Б.А. Особенности поиска подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 11-2. с. 270–275.
2. Голядкина С.С., Богданова О.С. Из опыта применения телеуправляемых подводных аппаратов по программе работ «мониторинг состояния потенциально опасных объектов в Черном море». / Ж. «Вестник ассоциации буровых подрядчиков». - № 3, 2016 г.
3. Акимов В.А., Владимиров В.А., Измалков В. И. Катастрофы и безопасность / МЧС России. М.: Деловой экспресс, 2006.- 392 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ



А.М. Лепихин, д.т.н., главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, НТЦ «Нефтегаздиагностика», г. Москва

Одним из основных приоритетов Морской доктрины Российской Федерации является обеспечение безопасного функционирования морских трубопроводных систем по транспортировке углеводородного сырья, имеющих стратегическое значение для обеспечения внутреннего потребления и развития внешнеэкономической деятельности. В число приоритетов также входят опережающее развитие российской научно-технической базы и предотвращение антропогенных и техногенных аварий и катастроф на морских объектах. Указанные приоритеты тесно связаны с решением комплексной проблемы обоснования и обеспечения безопасности морских нефтегазовых сооружений. Различные аспекты этой проблемы неоднократно обсуждались на совещаниях Межведомственного экспертного совета по безопасности морских подводных трубопроводов и объектов [1-3]. В зарубежной литературе эта проблема также получает должное отражение [4-7]. С учетом этих публикаций остановимся на некоторых вопросах обоснования безопасности морских нефтегазовых сооружений.

Требования безопасности объектов различного назначения, в том числе морских нефтегазовых сооружений, традиционно выводятся на основе анализа статистических данных о расследованиях аварий. Эти требования не являются оптимальными, поскольку формулируются на основе малого объема данных. К тому же прецедентный подход нельзя признать рациональным, поскольку он дает оценки «пост-фактум». Более предпочтительным является подход обоснования безопасности до ввода объектов в эксплуатацию и до возникновения аварий.

В соответствии с действующими нормами, для создания объектов различного назначения, в том числе морских нефтегазовых сооружений, проводится комплекс исследований и расчетов, включающий [8]:

- лабораторные испытания материалов;
- расчетно-экспериментальные исследования поведения материалов в заданных условиях эксплуатации;
- исследования повреждающих факторов и механизмов разрушения;
- натурные испытания;
- проектные расчеты прочности и ресурса;
- поверочные расчеты трещиностойкости и живучести конструкций;
- неразрушающий контроль и диагностирование технического состояния конструкций;

- анализ надежности;
- анализ риска.

На основе этого комплекса проводится оценка соответствия конструкции требованиям безопасной эксплуатации. Следует отметить, что в настоящее время нет единого показателя безопасной эксплуатации. При оценке соответствия используется синтез различных показателей и критериев.

Первый уровень обоснования безопасности заключается в использовании в проектных расчетах нормативно установленных коэффициентов запаса (безопасности) по материалам, нагрузкам, надежности и ответственности конструкций. Этот уровень оценки безопасности проводится всегда и для любых типов конструкций морских нефтегазовых сооружений. Условие обеспечения безопасности на этом уровне расчетов определяется выполнением ограничений следующих видов:

по допускаемым напряжениям

$$\sigma \leq [\sigma] = \min[R_{0.2}/n_{0.2}, R_m/n_m] \quad (1)$$

по разрушающим нагрузкам

$$F \leq [F] = F_L/n_F \quad (2)$$

по предельным состояниям

$$\sum_{i=1}^n F_i \gamma_{Fi} \leq R_n A \gamma_c / \gamma_m \gamma_n \quad (3)$$

где $R_{0.2}, R_m$ – нормативные характеристики условного предела текучести и временного сопротивления разрушению; F_L – разрушающая нагрузка; F_i – эксплуатационные нагрузки; R_n – расчетное нормативное сопротивление металла разрушению; A – площадь сечения элемента конструкции; $n_{0.2}, n_m, n_F, \gamma_{Fi}, \gamma_c, \gamma_m, \gamma_n$ – коэффициенты запаса.

Второй уровень заключается в расчетах надежности с определением безопасного среднего ресурса t_{cp} или вероятностей безотказной работы $P(t)$. Как правило, эти расчеты проводятся в рамках поверочных расчетов для наиболее ответственных объектов, эксплуатирующихся в условиях высоких уровней нагрузок и воздействий. Условие обеспечения безопасности формулируются в виде ограничений по ресурсу и вероятности безотказной работы:

$$t_{cp} \geq [t], P(t) \geq [P] \quad (4)$$

Третий уровень, основанный на анализе риска $R(t)$, проводится крайне редко в силу недостаточности существующей теоретической и нормативно-методической базы. Условие обеспечения безопасности по критерию

риска в общем случае формулируются в виде следующего ограничения:

$$R(t) = P_f(t) \times C_f(t) \leq [R] = [P_f] \times [C_f] \quad (5)$$

где P_f – вероятность аварии с ущербом C_f ; $[P_f]$ и $[C_f]$ – допустимые уровни вероятностей аварий и ущербов.

При обосновании безопасности на основе неравенства (5) возникает две нетривиальные задачи. Первая задача заключается в определении риска аварий $R(t)$ для конкретного объекта в заданных условиях эксплуатации. Вторая задача состоит в определении допустимого или приемлемого уровня риска.

Анализ риска аварий технических объектов проводится с использованием ряда специфических методов, таких как [9, 10]:

- анализ видов и последствий отказов (Failure Mode Effect Analysis, FMEA);
- анализ характера и критичности отказов (Failure Mode Effect and Criticality Analysis, FMECA);
- анализ опасностей и работоспособности (Hazard and Operability Analysis, HAZOP);
- анализ надежности персонала (Human Reliability Analysis, HRA);
- анализ дерева неисправностей (Fault Tree Analysis, FTA) и анализ дерева событий (Event Tree Analysis, ETA);
- вероятностный анализ риска (Probabilistic Risk Assessment, PRA).

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) является первой систематической технологией анализа отказов технических систем, включая технологические системы, механические системы и электронные системы. FMEA в основном используется для идентификации, описания и контроля потенциальных видов отказов, причин отказов и анализа их последствий в рассматриваемой системе или процессе. Метод анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA) является развитием технологии FMEA. Он состоит из двух частей: анализа видов и последствий отказов (FMEA) и анализа их критичности (CA). Это один из широко используемых самых эффективных и самых важных аналитических методов в современной технике анализа надежности и риска сложных

систем. На основе FMECA проводится приоритизация видов и последствий отказов и оценка критичности рисков. Анализ опасностей и работоспособности (HAZOP) используется для выявления и устранения потенциальных опасностей в системах или процессах до того, как произойдет инцидент, который может повлиять на безопасность. Исследования HAZOP обычно проводятся при проектировании и строительстве новых объектов, при добавлении новых процессов или при их изменении. Анализ надежности персонала (HRA) фокусируется на выявлении человеческих ошибок в системе «человек-машина-среда» и их влиянии на безопасность объекта. В настоящее время этот анализ включается свыше 10 различных методов и модификаций и активно развивается. Указанные методы дают качественные представления о возможных рисках аварий, которые, с использованием различных систем ранжирования, могут приводиться к некоторым количественным классам риска.

Для морских подводных объектов более предпочтительными можно считать методы непосредственной количественной оценки риска. К ним относятся анализ деревьев неисправностей (FTA) и событий (ETA) и вероятностный анализ риска (PRA). Метод FTA и ETA широко используется для количественного анализа риска аварий сложных технических систем. Первая часть этого анализа заключается в определении вероятностей аварий объектов по вероятностям отказов отдельных компонент, процессов или отдельных внешних событий. Вторая часть направлена на анализ исходов событий после возникновения аварии. В обоих случаях определяются количественные оценки вероятностей. Основной недостаток этого подхода заключается в необходимости наличия статистической информации по отказам оборудования и исходам событий. При этом необходимо хорошее понимание структурной взаимосвязи элементов объекта.

Вероятностный анализ риска (PRA) является наиболее эффективным методом, основанным на синтезе новейших достижений теории надежности, конструкционной прочности, механики разрушений, вычислительной механики. Рассмотрим некоторые ключевые аспекты этого подхода. Обычно PRA основывается на статистических данных об интенсивностях отказов λ , с оценкой удельного риска в виде:

Класс безопасности	Вероятность аварии, 1/год	Ущерб, руб.	Длительность остановки объекта
Класс 1	$\leq 10^{-6}$	$10^9 - 10^{10}$	Свыше 1 года
Класс 2	$10^{-5} - 10^{-6}$	$10^7 - 10^9$	6-12 мес.
Класс 3	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^5 - 10^7$	2-3 мес.
Класс 4	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^4 - 10^5$	до 1 мес.

Таблица – Классы безопасности морских нефтегазовых сооружений



$$R(t) = \lambda_r(t) \times C_r(t) \quad (6)$$

Как отмечалось выше, такие оценки могут применяться для массовых однотипных объектов, находящихся в однородных условиях эксплуатации длительное время. В определенной мере это применимо к морским трубопроводным системам. Для уникальных объектов, например, таких как морские платформы, такие оценки крайне затруднительны или вовсе неприменимы. В таких случаях для количественных оценок риска (5) проводятся расчеты вероятностей аварий по условиям достижения предельных состояний конструкций:

$$P_f(X) = P\{L(X) \leq 0\} = \int_{L(X) \leq 0} f(X) dX, f(X) = \prod_{i=1}^n f(x_i) \quad (7)$$

Основой расчетов вероятностей (7) являются методы теории надежности и математической статистики. Для определения вероятностей (7) необходимо задать

уравнение предельного состояния $L(X)=0$, обосновать модель отказов и модели, определяющие совместную функцию плотности распределения вероятностей $f(X)$ вектора случайных переменных $X = \{x_i, i = 1, n\}$. Сложности расчетов вероятностей (7) связаны с необходимостью анализа многопараметрических механизмов повреждений конструкций, приводящих к предельным состояниям, и определении функций плотностей распределений вероятностей $f(x_i)$ для учитываемых случайных переменных x_i . Описание возможностей и методов таких расчетов выходит за рамки данной статьи. Следует отметить, что оценки риска в форме (5), с учетом (7), основаны на вероятностных интерпретациях условий (1) – (3), что принципиально отличает их от известных статистических и экспертных оценок риска аварий.

Остановимся теперь на правой части выражения (5). Приемлемость рассчитываемого риска в настоящее время

оценивается с использованием четырех подходов [9, 11]:

- сравнением с аналогами;
- оценкой соответствия хорошо зарекомендовавшим себя правилам, практике и функциям;
- на основе принципа ALARP;
- на основе принципа ALARA.

Первый подход предполагает наличие аналогов, безопасность которых хорошо изучена и не вызывает вопросов. В силу уникальности морских подводных сооружений метод сравнения с аналогами трудно реализовать, поскольку сложно найти изделия или объекты, совпадающие по конструктивным формам и условиям эксплуатации. Для трубопроводных систем иногда используются аналоги из атомной промышленности, с некоторым понижением допустимых уровней риска.

Второй подход, на основе оценки соответствия правилам, практике и функциям, является традиционным направлением отечественной и зарубежной системы обеспечения безопасности. Основным недостатком этого направления заключается в том, что соответствие нормам и требованиям не имеет количественных измерителей. Поэтому, не смотря на выполнение норм и требований и длительную безаварийную эксплуатацию объекта уровень его безопасности остается неизвестным.

Количественные оценки допустимого уровня безопасности формулируются на основе принципов ALARP и ALARA. Принцип ALARP определяет допустимый риск как настолько низкий, насколько это практически осуществимо. Фактически в это принцип закладывает разумный компромисс между безопасностью и затратами на повышение безопасности. Этот компромисс может задаваться в виде матрицы рисков в координатах «вероятность события – масштаб ущерба» или диапазоном вероятностей аварий. В ряде зарубежных стандартов для морских сооружений допустимый интервал вероятностей аварий составляет 10^{-3} – 10^{-6} 1/год.

Принцип ALARA определяет допустимый риск настолько низким, насколько это достижимо при существующей научно-методической и технической базе. Это направление обеспечения безопасности оказывается более затратным, по сравнению с подходом на основе принципа ALARP, поскольку требует самых совершенных научных и технических достижений. В последнее время для критически важных объектов инфраструктуры предпринимаются попытки объединения обоих принципов в форме исключения нижней границы в ALARP. В частности, такой подход закладывается в голландской и бельгийской системе приемлемости риска, в радиационной безопасности и в ядерной промышленности как особый тип принципа предосторожности.

Анализ статистики аварийности морских подводных трубопроводов показывает, что вероятности аварий находятся в интервалах 10^{-3} – 10^{-5} 1/год. Интервал ущербов составляет 10^4 – 10^7 \$/год. Для морских платформ вероятности аварий измеряются величинами 10^{-4} – 10^{-5} 1/год, а ущербы могут достигать 10^9 \$. Если исходить из этих данных, то для морских нефтегазовых сооружений можно предложить следующие классы безопасности (табл.).

Резюмируя изложенное выше, можно отметить следующее. Методология обоснования безопасности морских подводных сооружений находится в стадии формирования моделей, методов и критериев. Большинство традиционных подходов и методов здесь оказывается

недостаточно эффективными или вовсе неприемлемыми. Наиболее перспективным направлением можно считать обоснование безопасности по критериям риска. Практическая реализация этого направления требует создания ряда нормативно-методических документов, определяющих:

- общую концепцию обоснования безопасности по критериям риска;
- методы количественной оценки риска аварий;
- методы оценки допустимого риска аварий;
- требования к исходной информации и методам ее получения;
- требования к представлению результатов оценки риска и обоснования безопасности.

Основное внимание должно уделяться учету особенностей морских подводных сооружений как стратегически важных объектов для экономики Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Лещенко В.В., Шмаль Г.И. Проблемы безопасности морских подводных трубопроводов // *Морская наука и техника*, 2022. - №5, с. 30-35.
2. Махутов Н.А. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность морских подводных трубопроводов и объектов: обоснование и нормирование // *Морская наука и техника*, 2024. - №16, с. 4-11.
3. Лепихин А.М. Безопасность морских нефтегазовых сооружений: проблемы и решения // *Морская наука и техника*, 2024. - №16, с. 22-27.
4. Comparative risk analysis for deepwater production systems. Final project report / R.B. Gilbert. Texas A&M University, 2001. 368 p.
5. Vinnem J.E. Offshore risk assessment principles, modelling and applications of QRA Studies. Springer. 2007. – 573 p.
6. Marhavalis P.K., Koulouriotis D., Gemeni V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009 // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24 (2011) 477-523.
7. Marhavalis P.K., Koulouriotis D.E. Risk-acceptance criteria in occupational health and safety risk-assessment – the state-of-the-art through a systematic literature review // *Safety* 2021, 7, 77. <https://doi.org/10.3390/safety7040077>.
8. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность: в 2 ч. Новосибирск: Наука, 2005. – Ч.1: Критерии прочности и ресурса – 494 с. – Ч.2: Обоснование ресурса и безопасности. – 610 с.
9. Tang Y., Yao J., Wang G., Zhang Z., He Y., Jing J. Risk Identification and Quantitative Evaluation Method for Asset Integrity Management of Offshore Platform Equipment and Facilities // *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2019, Article ID 1915842, 14 pages <https://doi.org/10.1155/2019/1915842>
10. Trbojevic V.M., Bellamy L.J., Brabazon P.G., Gudmestad T., Rettedal W.K. Methodology for the analysis of risks during the construction and installation phases of an offshore platform // *J. Loss Prev. Process Ind.*, 1994, Vol. 7, N4, p. 350-359.
11. Guidance notes on Risk assessment application for marine and offshore industries. American Bureau of Shipping. 2020. – 73 p.

ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Авторы: А.М. Маевский, В.Ю. Занин, И.А.Печайко., М.А. Алексеев., Н.М.Буров.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, область подводной робототехники (понятие «робот» в настоящей статье рассматривается в соответствии с п. 3.1 ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2021) за рубежом находится на этапе прикладного применения при решении реальных коммерческих задач.

Прикладные исследования в области автоматизированных и автоматических бортовых манипуляторных комплексов автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) стартовали в 1996 году. На момент 2024 года один из ведущих мировых центров компетенций перехода от мониторинговых АНПА к интервенционным – университет Жироны, уже более 15 лет ведет разработку моделей своего интервенционного АНПА (на англ. Interventional AUV (i-AUV)). Особенностью интервенционных аппаратов является наличие бортового манипуляторного комплекса (МК) и способности аппарата в автономном режиме осуществлять различные операции с использованием МК. В 2014 году разработчики университета Жироны продемонстрировали работу своего аппарата в испытательном бассейне [1,2]. Основной задачей в тот период времени являлась отработка технологий взаимодействия с макетом рабочей панели подводных добывающих комплексов (ПДК) (см. рис.1(а)). На тот момент разработчиками была проведена интеграция имеющихся систем распознавания и обнаружения образов, с целью определения состояния рабочих элементов на макете рабочей панели. Следующим этапом являлась отработка технологии позиционирования и докования АНПА у объекта выполнения работ с применением МК [3,4] (см. рис. 1(б)). В 2022 году все те же разработчики, понимая тенденции развития технологий группового управления (проект Twinbot), продемонстрировали сопряженную работу двух аппаратов с целью установки трубопровода [5] (см. рис. 1(в)).

В 2024 году разработчики из университета Жироны представили автономную систему очистки подводных объектов. Интервенционный АНПА "Жирона 1000" (Girona1000 AUV) наглядно выполнил автономную миссию: выход на подводный объект (морская ветровая

платформа ATLANTIS в Португалии), очистка его элементов от биологического обрастания с использованием зачистной машинки (см. рис 2), установленной на бортовом многозвенном манипуляторном комплексе, а также проведение неразрушающего контроля конструкции [6].

Другим примером прикладной реализации интервенционных технологий для АНПА (в том числе и резидентного (длительного) базирования в водной среде) является проект компании Kawasaki Heavy Industries, Ltd. и ее АНПА «SPICE» (Subsea Precise Inspector with Close Eyes), оснащенный подводным манипуляторным комплексом обеспечивающий осмотр донных объектов (нефтепроводов). В 2022 году совместно с компанией Total Energies были проведены первые запуски АНПА «SPICE» в районе острова Авадзи в период с 30 августа по 2 сентября. АНПА провел измерения электрического потенциала посредством измерительного устройства для проверки состояния защиты трубопроводов от коррозии, интегрированного в подводный манипуляторный комплекс [7-8] (см.рис.3).

По результатам проведенных испытаний компания Modus Subsea Services разместила заказ на первую коммерческую модель АНПА «SPICE», которая станет усовершенствованной версией системы, использовавшейся для испытаний на шельфе Японии.

Надо отметить, что схожие работы в 2023 – 2024 годах велись и в Российской Федерации, где АНПА ММТ-3500 разработки и производства ИПМТ им. академика М. Д. Агеева ДВО РАН оснащался экспериментальным многозвенным манипуляторным комплексом (см. рис. 4) для выполнения опытно-коммерческих работ и апробирования новых технологий неразрушающего контроля на морском подводном трубопроводе в акватории Чёрного моря [9-12].

Помимо университета Жироны и компании Kawasaki, к 2024 году в опытно-коммерческую эксплуатацию были переданы подводные резидентные интервенционные аппараты ряда других прикладных научно-исследовательских компаний. К примеру, как Oceaneering International, Inc., (США) и её АНПА Freedom, который был



Рисунок 1. Демонстрация работы i-AUV Girona при взаимодействии с панелью, доковании и укладки трубопровода



Рисунок 2. Автономное техническое обслуживание подводных объектов с использованием АНПА (слева в испытательном бассейне, справа в процессе работ на морской ветровой платформе ATLANTIS)

задействован для завершения пилотного промышленного проекта по инспекции трубопроводов для компании Total Energies [13]. Следует отметить, что пилотный проект в Северном море для компании Total Energies привел к проверке более 120 км морских подводных трубопроводов (см. рис 5).

Для достижения такого результата АНПА Freedom оснащен высокотехнологичными бортовыми системами технического зрения, навигации и планирования действий, обеспечивающими высокую автономность.

Представленные примеры указывают на непрерывно развивающийся тренд – подводных автономных технологий, находящихся реализации при решении реальных практических коммерческих и государственных задач. В обеспечение этого тренда основным фокусом всех разработчиков подводных аппаратов является исследование возможностей интегрирования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в бортовые системы морских робототехнических средств и комплексов (МРТС и МРТК – данное понятие в настоящей статье рассматривается в соответствии с п. 3.2 и п. 3.8 ГОСТ Р 60.7.0.1-2020 в дальнейшем МРТК) [14-17].

Консорциум ведущих компаний и исследовательских институтов в сфере информационных технологий, искусственного интеллекта (DFKI Cognitive Assistance Systems, Embedded Intelligence и др.), робототехники, приводных технологий и морских нефтегазовых операций под руководством Инновационного центра робототехники DFKI сделал очередной шаг в развитии ИИ в МРТК. В рамках проекта Mare-IT был разработан интервенционный АНПА с двумя манипуляторными комплексами для обслуживания и ремонта подводных сооружений (рис.6 (а)).

Также под руководством DFKI был реализован АНПА FlatFish. Данный АНПА оснащен усовершенствованной системой управления на основе искусственного интеллекта, способной автономно выполнять миссии с учетом принятия решений в режиме реального времени. Система ИИ также интегрирована в систему технического зрения, что в сочетании с модулями полезной нагрузки позволяет проводить 3D-реконструкцию и сбор внешних данных с подводных месторождений и объектов подводной инфраструктуры (см.рис.6 (б)). Благодаря интегрированным технологиям ИИ АНПА FlatFish обеспечивает инспектирование и мониторинг сложной подводной инфраструктуры от мелководья до глубины 3000 м. Недавно АНПА FlatFish прошел натурные испытания (опытную эксплуатацию), проведенные у побережья Бразилии при участии компаний Shell Brasil, Senai CIMATEC и Petrobras в рамках совместной исследовательской программы. В



Рисунок 3. АНПА Spice в процесс инспекции имитатора подводного трубопровода Total Energies

ходе этих испытаний удалось достигнуть глубины 1800 м [18, 19].

Примером применения реальных систем Deep Learning (от англ. глубокое обучение DL) является опыт применения аппарата HUGIN (см. рис.7) при выполнении проекта обследования 7 морских подводных трубопроводов общей длиной 350 км. при участии компании Equinor [20].

Этапы данного пилотного проекта были успешно завершены в 2018 и 2020 годах. Следует отметить, что модернизация и усовершенствование таких технологий ведется всеми передовыми компаниями.

Зарубежные разработчики активно развивают интеллектуальные системы технического зрения (ИСТЗ), обеспечивающих одновременный процесс детектирования, классификации, сегментации и локализации объектов/дефектов инспектируемого объекта (в частности, трубопровода) [21].

Очевидно, что такие технологии необходимы и в Российской Федерации. Имеющиеся целевые программы и указы Президента РФ, направленные на развитие арктического региона на период до 2030 года, программа развития судостроения до 2030 года и необходимость обеспечения безопасности Северного морского пути и объектов стратегического назначения прямо указывают на потребность интенсивного развития комплексных технологий, обеспечивающих долгосрочную и автономную работу МРТК.



Рисунок 4. АНПА ММТ-3500 с бортовым многозвенным манипуляторным комплексом

На сегодняшний день, развитием отечественных прикладных разработок в данной области занимаются такие предприятия, образовательные и научные учреждения как АО "НПП ПТ "Океанос", ФГБОУ ВО СПбГМТУ, АО "Концерн "НПО "Аврора" и ФГУБН ИПМТ им. академика М.Д. АГЕЕВА ДВО РАН [22-24].

С целью углубленной отработки технологий уже имеющихся в заделе АО «НПП ПТ «Океанос» [25-28] и дальнейшего развития сопутствующих программно-аппаратных средств, в рамках перспективного развития востребованных интеллектуальных интервенционных и резидентных технологий автономной подводной робототехники [29-32], авторами, в содружестве с конструкторским коллективом АО «НПП ПТ «Океанос», был разработан стенд натурной отработки технологий взаимодействия подводного бортового манипуляторного комплекса и интервенционного АНПА (И-АНПА), позволяющий обеспечить дополнительное перемещение МК в трех плоскостях (степенях свободы), к имеющимся собственным пяти степеням МК, тем самым имитируя пространственное перемещение реального АНПА при работе с подводными объектами. Разработанный стенд обеспечивает:

- автономную работу МК и И-АНПА с «функциональными блоками» макета рабочей панели ПДК под управлением ИИ;
- выход и удержание И-АНПА относительно установленных целевых точек, определенных системой тех-



Рисунок 5. АНПА Freedom в процесс инспекции морского подводного трубопровода Total Energies



- нического зрения под управлением ИИ;
- интеллектуальный анализ состояния рабочих органов и контрольных приборов функциональных блоков макета рабочей панели ПДК (в том числе определение и сегментация загрязнений) и их учет в системе планирования действий под управлением ИИ;
- процесс интеллектуальной классификации и сегментации фракций/конкреций грунта для обеспечения автономного забора грунта (пробоотбора) под управлением ИИ).

Кроме этого в процессе разработки/отладки находится функционал стенда по определению повреждений и деформаций подводных трубопроводов под управлением ИИ.

Как видно, целью данного стенда отработки И-АНПА является развитие и детальная проработка программно-аппаратных систем, верификация работы этих систем при выполнении реальных задач [33,34]. Основные задачи, решаемые при помощи стенда отработки И-АНПА при функционировании под управлением ИИ в данной работе, можно сформулировать как:

1. Определение состояния панели и оценка возможности взаимодействия МК с макетом панели ПДК (определение наличия загрязнения, объёма и метода (инструментария) необходимой очистки области загрязнения (обрастания)).
2. Выполнение технических работ по очистке загрязненных областей макета рабочей панели ПДК.
3. Проведение автономных работ МК с рабочими объектами (hotstab и torque-tool) на макете рабочей панели ПДК.
4. Оценка проведенных работ (считывание показаний контрольных приборов - манометров).
5. Обеспечение работ по поиску, определению и забору необходимых образцов конкреций, грунта или иных проб и образцов с их дальнейшим размещением в «контейнере» для хранения.
6. Оценка работы интеллектуальной СТЗ в водной среде с учетом различных условий видимости.

КОНСТРУКЦИЯ СТЕНДА ИМИТАТОРА И-АНПА И АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Макет рабочей панели ПДК выполнен на основе ана-



Рисунок 6. Современные подводные интервенционные и мониторинговые аппараты оснащенные средствами ИИ: FlatFish и Mare-IT

лиза существующих эксплуатируемых ПДК [35] и опыта обслуживания подобных комплексов.

Макет выполненной рабочей панели ПДК и И-АНПА, а также натурное представлено на рисунке 9.

Разработанный стенд представляет из себя мобильную быстро сборную каркасную платформу размером 2346 x 1473 x 1057 мм. выполненную из алюминиевых направляющих с обеспечением жёсткости тросовыми растяжками.

Конструкция И-АНПА имеет 3 системы координат X_0, Y_0, Z_0 – базовая система координат, $X_{и-анпа}, Y_{и-анпа}, Z_{и-анпа}$ – система координат И-АНПА, $X_{МК}, Y_{МК}, Z_{МК}$ – система координат МК, включающих в себя следующие элементы: 1 – макет рабочей панели подводного добывающего комплекса (имеет 3 «функциональных блока», обозначенных как М1, М2 и М3 и выделенных различными цветами. На панелях функциональных блоков присутствуют органы контроля и управления макетом панели (манометр, для отслеживания изменения давления в системе и два разъема для вращательного инструмента с низким крутящим моментом и приемное устройство для штепселя имитатора гидравлического разъёма); 2 – подводный бортовой электро-механический пяти степенной манипулятор; 3 – имитатор И-АНПА; 4 – макеты рабочих инструментов (рабочий штепсель гидравлического разъёма и вращательный инструмент с низким крутящим моментом визуально соответствующих ПНСТ 605-2022 [13]); 5 – сменного поддона (размером 1100x650x90 мм с образцами конкреций или сменного поддона с образца-

ми трубопроводов (условно не показан).

Также на рис.9 (а) и (б) представлены: 6 – область «окрестности» целевой точки; 7 – поддоны для хранения собранных конкреций; 8 – целевая точка для выхода МК и И-АНПА; 9 – блок компонентов ИСТЗ на схвате МК в составе (камеры глубины Orbbec Astra Pro, дальнометров ближней (Sharp GP2Y0A41 (4–30 см)) и средней зоны Benewake TFmini Plus LIDAR (12 м)); 10 – блок компонентов ИСТЗ на И-АНПА в составе камеры глубины Intel RealSens D435; 11 – расположение «конкреций». Поток данных с камер глубины может быть представлен в виде двумерных матриц интенсивностей пикселей:

$$V^1_{xy} = \{V^1_{xy} | x \in [1, 1024], y \in [1, 1024]\} \quad \#(1)$$

$$V^2_{xy} = \{V^2_{xy} | x \in [1, 1024], y \in [1, 1024]\} \quad \#(2)$$

И-АНПА способен функционировать при следующих режимах управления:

- дистанционный режим управления с пульта управления оператора;
- режим движения по заранее заданным значениям степеней свободы манипуляторного комплекса (по пресетам);
- автоматизированный режим управления на основе решения обратной задачи кинематики;
- автономном режиме с использованием интеллектуальной системы технического зрения (ИСТЗ) под управлением ИИ.



Рисунок 7. Двухзвенный МРТК в составе носителя БЭК XPRIZE и АНПА HUGIN в процессе обследования трубопровода



Рисунок 8. Обработка системы детектирования повреждения имитатора трубопровода в испытательном бассейне при движении ИПА по целевой траектории

Перевод значений энкодера в углы манипулятора основан выражении

$$V_{angle} = (V_{enc} - V_{min}) / (V_{max} - V_{min}) \quad \#(3)$$

$$\theta = \Delta\theta + V_{angle} (\theta_{max} - \theta_{min}) + \theta_{min} \quad \#(4)$$

Где V_{enc} - текущее значение энкодера; V_{min} , V_{max} - минимальные и максимальные значения энкодера; V_{angle} - коэффициент перевода значений энкодера в углы в диапазоне работы звена; θ — вычисленный угол звена манипулятора; $\Delta\theta$ — базовый (смещённый) угол манипулятора. (определяется оператором для предупреждения возможности выхода за пределы рабочей зоны); θ_{min} , θ_{max} - минимальный и максимальный углы вращения звена.

Как видно, разработанный И-АНПА является сложным технологическим комплексом, предназначенным для проработки и исследования алгоритмов планирования движения, детектирования и оценки состояния, а также сопряженного управления МК и И-АНПА.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ (ИСТЗ)

К основным функциям ИСТЗ относятся: определение элементов рабочей панели ПДК и их состояния;

- определении загрязнений на рабочей панели ПДК;
- определении координат элементов панели ПДК;
- определении конкреций и их типа;
- определение координат конкреций;
- определение состояния имитатора трубопровода;
- определение типа и координат повреждений или инородных объектов, находящихся на поверхности имитатора трубопровода.

Представленный спектр задач решается методами классификации и сегментации искусственными нейронными сетями, совместно с алгоритмами трекинга.

В качестве датасета для обучения были засняты 3200 изображений. В результате аугментации данных (методами геометрических цветовых преобразований, а также использования шумов и искажений) было получено 25000 изображений. Для обучения использовалась Yolo v.8. Нейронная сеть была обучена для определения следующего количества классов Φ_{ik} - где i - выбранная ра-

Контроль и управление И-АНПА и МК осуществляется на пункте управления оператора (ПУО). Общая структурная схема комплекса И-АНПА представлена на рисунке 10.

ПУО состоит из пульта управления МК и пульта управления И-АНПА. Оператор имеет возможность настройки скорости перемещения МК и И-АНПА, что позволяет обеспечить более плавное перемещение объектов управления. Графический интерфейс оператора позволяет производить настройку пресетов, загружать предустановленные миссии, визуализировать положение МК и И-АНПА в пространстве, выводить диагностическую информацию о состоянии исполнительных механизмов и отображать данные полученные с модулей ИСТЗ. Сервер обработки и маршрутизации данных, обеспечивает дополнительное программно-аппаратное взаимодействие между данными реального И-АНПА и его цифрового двойника, реализованного при помощи компонентов ROS 2 и визуализации телеметрии.

На рисунке 10: U_x, U_y, U_z - значение усилия для трёх направлений движения И-АНПА в условных единицах; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ - значения усилия на каждую степень манипулятора в условных единицах; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$ - количество импульсов посчитанных энкодерами при работе моторов для каждой из степеней манипулятора (каждые 16 импульсов равны одному обороту мотора на 360 градусов); U_x, U_y, U_z - количество импульсов посчитанных энкодерами при обороте моторов для каждого из направлений движения И-АНПА; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ - значения углов отклонения каждой из степеней манипулятора

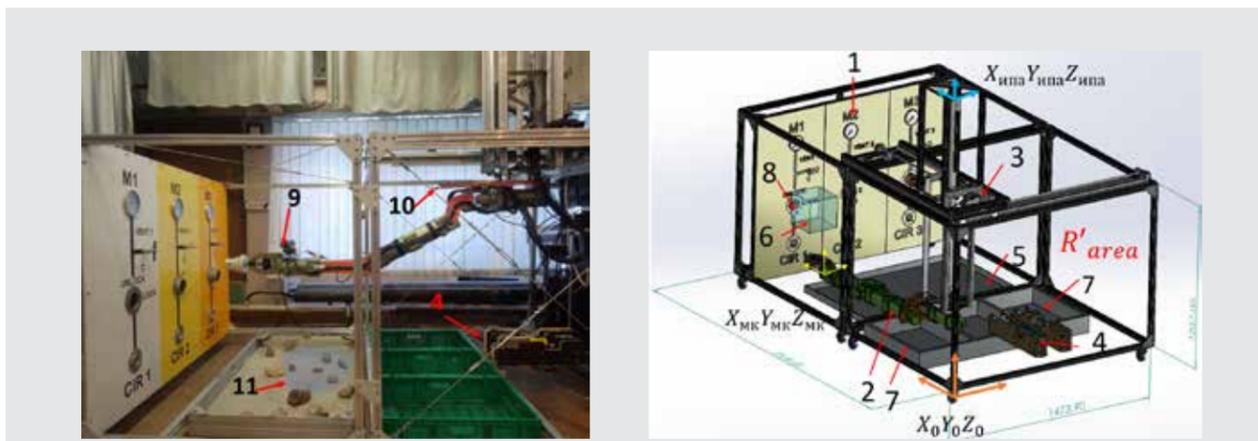


Рисунок 9. Макет и натурное представление выполненной рабочей панели ПДК и И-АНПА

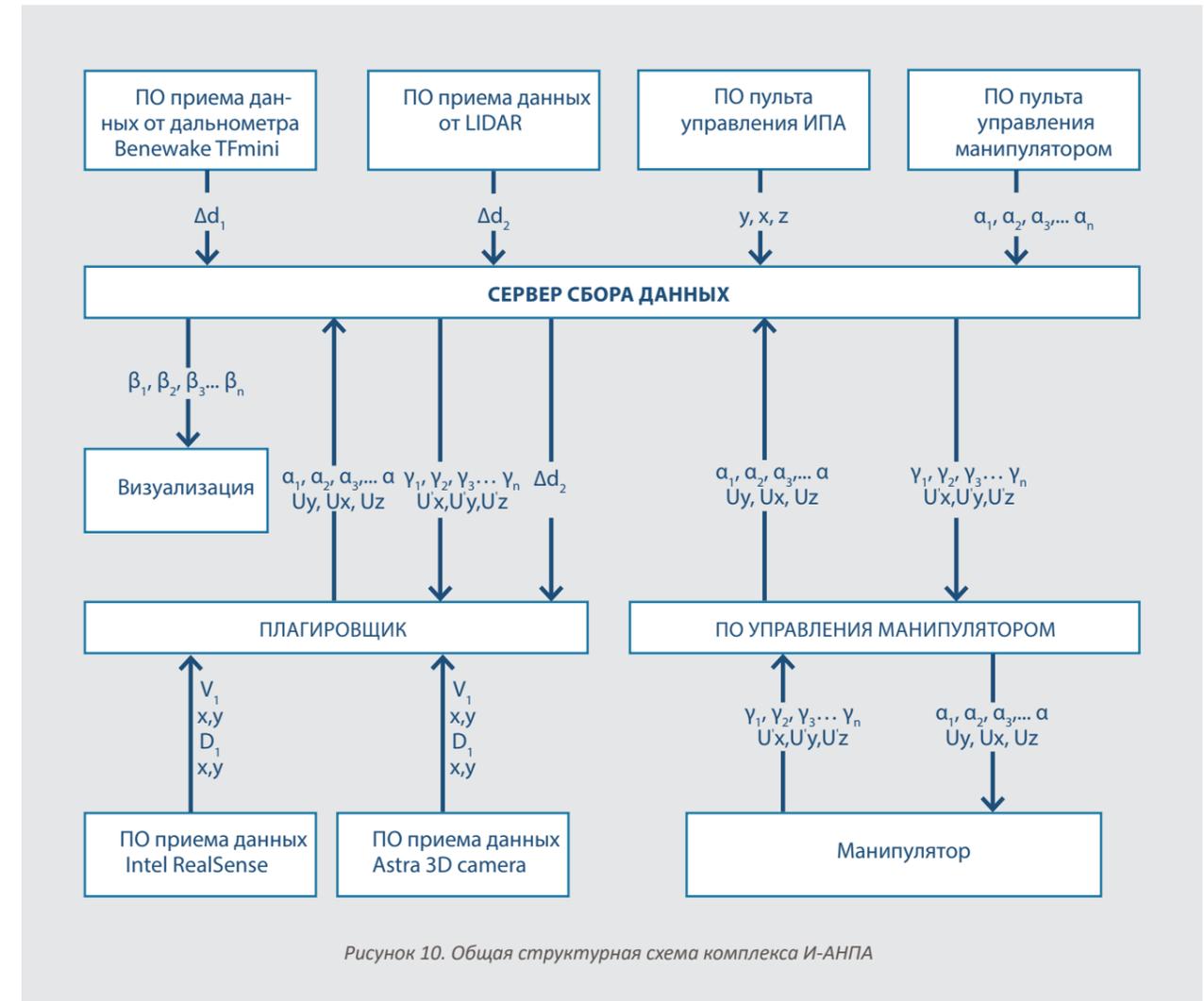


Рисунок 10. Общая структурная схема комплекса И-АНПА

бочая линия, k - объект на панели $\Phi_{i,1}$ - манометр (подпись), $\Phi_{i,2}$ - манометр, $\Phi_{i,3}$ - вентиль сброса давления (подпись), $\Phi_{i,4}$ - вентиль сброса давления (состояние), $\Phi_{i,5}$ - отверстия для установки инструмента Ht, $\Phi_{i,6}$ - CIR (подпись функционального блока рабочей панели), $M_{\Phi_{i,1}}$ - показание манометра (принято 0 или 1, в случае превышения порогового значения $M_{crit} = 1$ Па). Количество эпох обучения 30, размер $batch_size = 20$.

Результат кривых обучения, и работы ИСТЗ по определению объектов на макете рабочей панели представлен на рисунке 11.

Результатом работы ИСТЗ является набор центра координат $P_{\Phi_{i,k}} = [x_{\Phi_{i,k}}, y_{\Phi_{i,k}}, z_{\Phi_{i,k}}]$ определенных ИСТЗ объектов на панели. Как видно, в процессе обучения достигнут показатель точности равный 97%. Отдельно сеть обучена определять состояние показателей средств измерений (манометров) работы функционального блока (рабочей линии). Таким образом разработанная интеллектуальная система технического зрения в своем оснащении имеет масштабируемый каскад искусственных нейронных сетей, позволяющий проводить оценку визуальной информации, получаемой от различных аппаратных компонентов И-АНПА.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МК И И-АНПА

В основу текущей разработки САУ МК легли результаты, полученные авторами ранее, в ходе экспериментальных работ в водной (вязкой) среде с практическими эффектами наличия присоединённых масс и скоростей перемещения МК и его носителя ЛИ-АНПА, которые были подробно описаны в работах [28-32] и продемонстрированы при выполнении интервальных операций в испытательном бассейне СПбГМТУ.

Для определения координат схвата МК $P_{(arm)}$ используется преобразование Денавита-Хартенберга (DH):

$$T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i & 0 & a_i \cos\theta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & \sin\alpha_i & -d_i \sin\alpha_i \\ \sin\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \cos\theta_i & \cos\alpha_i & d_i \cos\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \#(5)$$

Где: θ_i — угол вращения вокруг оси Z_{i-1} ; d_i - смещение вдоль оси Z_{i-1} ; a_i - длина звена; α_i - угол наклона между Z_{i-1} и Z_i

В результате выполнения описанных вычислений мо-



Рисунок 11. Результат метрики точности обучения модели (таP50) и работы ИСТЗ по определению объектов на макете рабочей панели

гут быть получены итоговые матрицы положения для различных систем координат.

В результате могут быть рассчитаны итоговая матрица положения схвата:

$$T_{arm} = T_{UDS1} \cdot T_{UDS2} \cdot T_{UDS3} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \quad \#(6)$$

Где: T_{UDS} - матрица преобразования, которая описывает смещение одного звена манипулятора относительно другого; T_i - матрица преобразования, которая описывает смещение одного звена манипулятора относительно другого.

И соответственно координаты схвата:

$$P_{arm} = T_{arm} \cdot [0 \ 0 \ 0 \ 1] \quad \#(7)$$

Итоговая матрица положения камеры на имитаторе подводного аппарата:

$$T_{realsense} = T_{UDS1} \cdot T_{UDS2} \cdot T_{UDS3} \cdot T_{realsense_tf1} \cdot T_{realsense_tf2} \cdot T_{realsense_tf3} \quad \#(8)$$

Где: $T_{realsense_tf}$ - матрица преобразования, которая описывает смещение камеры относительно имитатора подводного аппарата.

$$T_{astra} = T_{UDS1} \cdot T_{UDS2} \cdot T_{UDS3} \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_{astra_tf1} \cdot T_{astra_tf2} \cdot T_{astra_tf3} \quad \#(9)$$

Где: T_{astra_tf} - матрица преобразования, которая описывает смещение камеры относительно схвата манипулятора.

Решение обратной задачи кинематики манипулятора основано на методе построения обратной матрицы Якоби, которая также позволяет учесть необходимые ограничения, заложенные в конструкции И-АНПА и МК. Ошибка в положении схвата МК может быть представлена в выражением:

$$\Delta P = P_{target} - P_{arm} \quad \#(10)$$



Рисунок 13. Пример позиционирования относительно окрестности целевой точки



Рисунок 15. Пример движения И-АНПА с МК в комплексе симуляции Gazebo и передвижение на стендовом образце И-АНПА

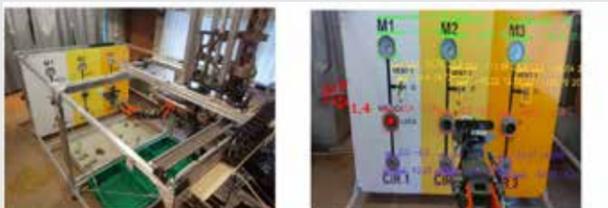


Рисунок 14. Пример движения И-АНПА с МК в окрестность точки установки рабочего инструмента T_t и установка инструмента в посадочное место на панели ПДК



Рисунок 17. Пример выполнения сценария детектирования и забора заданной конкреции грунта

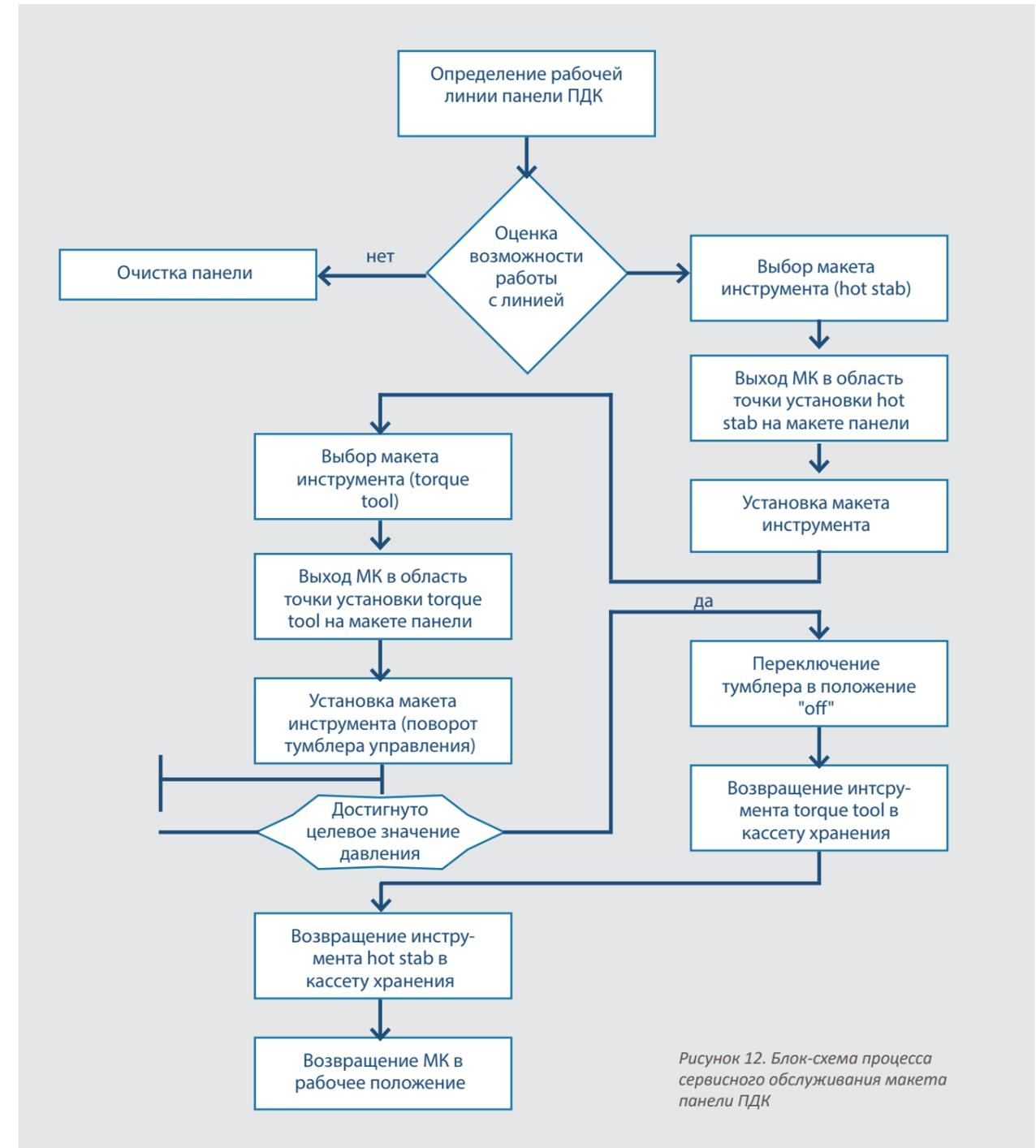


Рисунок 12. Блок-схема процесса сервисного обслуживания макета панели ПДК

Где $P_{target} = [x_{\phi_{i,k}}, y_{\phi_{i,k}}, z_{\phi_{i,k}}]$ – координаты целевой точки МК определяемые системой СТЗ (V^1, V^2, V^3). При работе с инструментами $P_{target} = P_{\phi_k} = P^y$, где $P^y_{\phi_{i,k}} = [x_{\phi_{i,k}}, y_{\phi_{i,k}}, z_{\phi_{i,k}} - z^y_{P_{ндк}}]$ – координаты центра окрестности облака целевых точек выхода МК определяющегося на основе нормального закона распределения (в среднем на удалении от панели $z^y_{P_{ндк}} = 0.1$ (м)).

В рамках данной статьи описание результатов итерации решения задачи кинематики МК функция самотестирования и корректировки ΔP автономным МК не раскрывается.

Плавность хода движения схвата к целевой точке осуществляется за счет управления по каналу скорости:

$$V_p = (|\Delta P| / \Delta P) \cdot v_{step} \quad \#(11)$$

Где v_{step} – коэффициент сходимости равный 0.05 метра.

Для построения Якобиана (J) необходимо найти производные координат по обобщенным координатам:

$$J = \partial q \partial P \quad \#(12)$$

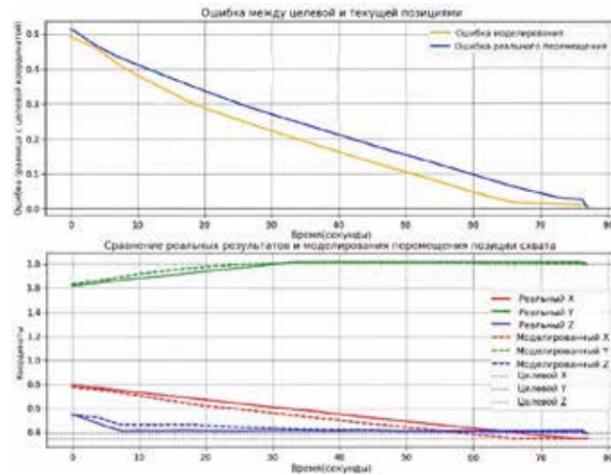


Рисунок 16. График перемещения схвата манипулятора и ошибка перемещения относительно целевой точки в сравнении с имитационным моделированием

Используется псевдообратная матрица J , которая помогает решать уравнения вида $Ax=b$, даже если у матрицы A нет обратной матрицы, находя наилучшее приближение к решению:

$$\Delta Q = J \cdot V_p \quad \#(13)$$

Где V_p скорость сходимости решения ОЗК схвата.

Обновление углов происходит на основе выражения:

$$Q_{new} = Q_{current} + \Delta Q \quad \#(14)$$

Итерации продолжаются, пока не станет меньше порогового значения $\|\Delta P\| < 0.02$ м.

Матричное представление рассчитанного якобиана может быть представлено в виде выражений для поступательного (15) и вращательного движения (16)

$$J_{trans_i} = R_i \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \#(15)$$

$$J_{rot_i} = R_i \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times (P_{arm} - P_i) \quad \#(16)$$

Где: R_i - матрица поворота из ДН-матрицы, P_{arm} - координаты схвата, P_i - координаты i -й степени МК.



Рисунок 19. Сценарии освещения испытательного бассейна в процессе эксперимента ИСТЗ в водной среде

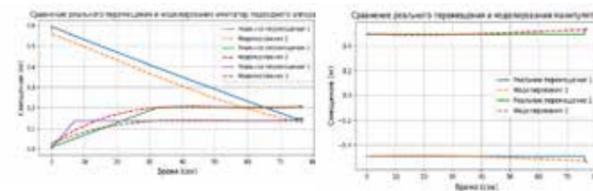


Рисунок 18. Перемещение имитатора подводного аппарата и манипулятора относительно целевых обобщенных координат

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ И-АНПА ПРИ ИМИТАЦИИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАКЕТА ПАНЕЛИ ПДК

Процесс сервисного обслуживания макета панели ПДК может быть представлен в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 12.

На первом этапе оператор на ПУО задает целевую миссию, к примеру, «сервисное обслуживание 1-го функционального блока макета рабочей панели ПДК». МК и И-АНПА выходят в рабочее положение, из которого видна вся рабочая область макета панели. Происходит определение позиций рабочих объектов на панели $\Phi_{i,k}$ и определение их состояния. Сценарий обслуживания, включает в себя установку рабочего инструмента hot-stab (Ht) (МК забирает инструмент из макета кассеты на основе пресета) в сервисное отверстие на панели. Переход МК и И-АНПА из рабочего положения в окрестность целевой точки $P_{\Phi_{1,5}}$ осуществляется на основе решения обратной задачи кинематики с использованием матрицы Якоби (на данный момент принято допущение, связанное с выбором целевой точки $P_{\Phi_{1,5}}$, дальнейшая комплексная проработка, подразумевает работу с оптимизированным облаком целевых точек). Детальное позиционирование относительно объекта $\Phi_{i,k}$ происходит за счет поэтапного смещения И-АНПА в плоскости XY с учетом нормализации значений V_{xy}^{norm} в диапазоне $[0,1]$ (V_{xy}^{norm}).

$$X_{dev} = |X_{\Phi_{i,k}} - (V_{xy}^{norm} \cdot X_{dev})|/2, Y_{dev} = |Y_{\Phi_{i,k}} - (V_{xy}^{norm} \cdot Y_{dev})|/2 \quad \#(17)$$

В случае $X_{dev} < \Delta_{threshold}$, $Y_{dev} < \Delta_{threshold}$ где $\Delta_{threshold} = 0.05$ - минимальное значение ошибки по отклонению от целевого значения, система управления останавливает движение в плоскости XY, считая, что схват МК спозиционирован относительно $P_{\Phi_{1,5}}$ в плоскости XY. Отработывая смещение камеры схвата (X_{dev} , Y_{dev}) по оси Y и осуществляя перемещение вдоль оси Z на величину (Ω) (зависящую от типа инструмента $\Omega_{Hs} = 0.37$ (м.) для инструмента Hs; $\Omega_{Tt} = 0.28$ (м.) - для инструмента Tt. Таким образом, когда $\Delta d_1 = \Omega_{Hs}$ и $\Delta d_1 = \Omega_{Tt}$ можно считать, что инструменты Hs и Tt успешно установлены в панели. При этом наличие (не смотря на принятые меры обеспечения жёсткости конструкции стенда) собственных колебаний конструкций, имеющих псевдо-случайный характер (в зависимости от скорости перемещения, траектории перемещения и использования макетов инструмента) позволяет имитировать недетерминированные воздействия внешней вязкой среды, с возможностью циклирования алгоритма позиционирования при смещении из зоны минимальных ошибок от целевого значения. Пример позиционирования относительно окрестности целевой точки представлен на рисунке 13.

По аналогичному принципу происходит установка



Рисунок 20. Расположение ИСТЗ с средством подводного освещения, генератора потока в испытательном бассейне, макета рабочей панели ПДК с нанесенными загрязнениями и конкреций грунта разного типа.

инструмента Tt. После открытия клапана подачи давления система отслеживает изменение состояния манометра $M_{\Phi_{1,1}}$. При достижении $M_{crit} M_{\Phi_{1,1}} = 1$ и система автоматически закрывает клапан подачи давления. Процесс завершения работы с панелью происходит по обратной схеме.

Пример выполнения сценария автономного обслуживания панели представлен на рисунках 14 и 15.

Графики изменения ошибки перемещения схвата относительно целевой точки представлены на рисунке 16.

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ И-АНПА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧИ ПО СБОРУ КОНКРЕЦИИ.

Для начала обследования области донной поверхности в поисках необходимого типа конкреций, МК и И-АНПА перемещаются в точку начала поиска.

Поиск необходимых конкреций проводится за счет покрытия указанного участка донной поверхности R_{area} набором точек $P_{R_{area}} = [P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Rn}]$ - где n - количество точек образующих целевую траекторию движения рабочего органа МК (к примеру, в виде галсов). В процессе прохождения И-АНПА с МК по целевой траектории ИСТЗ при обнаружении необходимого типа конкреций $K_{tr} = [x_c, y_c]$ обнаруживается центр определенного объекта $K_c = [x_c, y_c]$. На основе выражений (те же что и выше для наведения по камере) САУ И-АНПА стабилизирует над целевым объектом, так чтобы конкреция находилась в центре изображения. Зная смещение камеры на схвате МК относительно центральной точки самого схвата (dx, dy) происходит перемещение И-АНПА вдоль осей XYZ на величины (dx, dy) и dz (минимальное расстояние МК от грунта), после чего происходит процесс захвата конкреции. После выполнения забора конкреции, в зависимости ее типа, И-АНПА и МК располагают ее в определенный контейнер для сбора. Пример выполнения сценария по забору грунта представлен на рисунке 17.

Сравнение изменения обобщенных координат И-АНПА и МК с результатами моделирования представлено на рисунке 18.

Последующее комплексное и методологическое исследование, с целью верификации работы ИСТЗ в подводной среде, проводилось в испытательном бассейне АО «НПП ПТ «Океанос». Один функциональный модуль макета рабочей панели ПДК был установлен в чашу испытательного бассейна. Были рассмотрены 3 сценария освещенности внешней среды (см. рис.19): полная, частичная и минимальная освещенность (обеспечивающаяся средством подводного освещения). Также для учета турбулизации воды и образования замутнения изображения был использован внешний генератор потока, расположенный по направлению к макету ПДК (см.

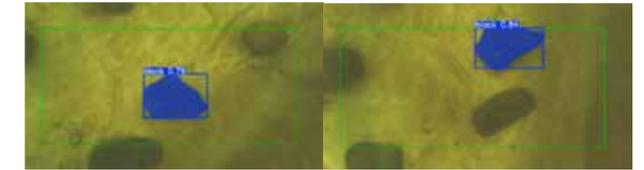


Рисунок 21. Результаты работы ИСТЗ при определении конкреций грунта в испытательном бассейне

рис. 20). Исследование работы ИСТЗ проводилось в рабочем диапазоне камеры И-АНПА: от 1 м до 2 м от макета рабочей панели ПДК; в рабочем диапазоне камеры на схвате МК: от 20 см до 1 м от панели.

Результаты работы ИСТЗ при описанных сценариях исследования представлены на рисунках 21-22.

Проведенные эксперименты продемонстрировали ожидаемое падение точности распознавания объектов ИСТЗ и подтвердили необходимость последующего итерационного до обучения модели на полученных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены базовые вопросы процесса разработки и применения стенда имитатора интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата с бортовым манипуляторным комплексом. Представлен обзор существующих зарубежных проектов и основных трендов в области автономной подводной робототехники. Проведенный анализ продемонстрировал, что основной акцент текущих разработок в области автономной подводной интервенционной и резидентной робототехники, сконцентрирован в направлении применения систем искусственного интеллекта.

В работе была рассмотрена задача технологического обслуживания панели подводного добычного комплекса, для решения которой использовалась интеллектуальная система технического зрения. Основной целью ИСТЗ являлось распознавание типов объектов на рабочей панели и их состояния. Технологии искусственных нейронных сетей позволили реализовать адаптивную, масштабируемую, программно-аппаратную каскадную систему. Представленные результаты демонстрируют возможность автономной работы МК в комплексе с САУ И-АНПА на основе данных ИСТЗ, что позволяет производить детектирование объектов интереса панели ПДК и заданных конкреций, а также позиционирование относительно этих объектов. На основе ИСТЗ может быть определено состояние и степень загрязненности пане-

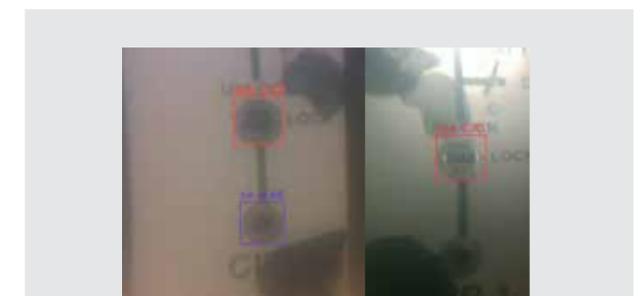


Рисунок 22. Результаты работы ИСТЗ при определении объектов на макете панели ПДК в испытательном бассейне

ли ПДК, что в последующем представляет возможным осуществить процесс отчистки панели, за счет адаптивного пространственного планировщика.

Представленное численное решение обратной задачи кинематики обладает универсальностью, позволяя применять его для различных конфигураций манипуляторных комплексов с учетом их конструктивных ограничений. Использование матрицы Якоби в процессе решения обратной задачи кинематики совместно с решением прямой задачи кинематики для комплекса И-АНПА и МК обеспечивает не только точный расчет траектории, но и учет существующих механических и геометрических ограничений манипулятора на этапе планирования движения. Благодаря этому путь, заданный в модели, практически совпадает с реальным перемещением робота, что повышает предсказуемость и точность работы системы.

Использование локального планировщика пути на основе данных с камеры на схвате манипулятора позволяет корректировать перемещение И-АНПА в процессе перемещения, что значительно повышает точность работы системы в сложных подводных условиях.

Направление дальнейших работ связано с:

- Проведением исследований в подводной среде с учетом имитации возмущающих (недетерминированных, включая мощные) воздействий, влияющих на позиционирование И-АНПА и МК относительно ПДК, подводного трубопровода или области поиска необходимых конкреций грунта.
- Дообучением ИСТЗ на данных полученных в ходе испытаний в бассейне и обучение ИСТЗ и САУ И-АНПА интеллектуальному анализу загрязнений и их автономной отчистке посредством МК.

В части касающейся автономного взаимодействия И-АНПА с МК с элементами подводного трубопровода, планируется интеграция имитатора трубопровода в области функционирования И-АНПА, с целью детектирования трубопровода, позиционирования МК относительно трубопровода и анализа состояния трубопровода (проверка на наличие повреждений и/или обеспечения или проведения не разрушающего контроля) с дальнейшим анализом возможности устранения дефекта посредством МК (очистка трубопровода от инородного объекта).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A. Carrera, M. Carreras, P. Kormushev, N. Palomeras and S. Nagappa, "Towards valve turning with an AUV using Learning by Demonstration," 2013 MTS/IEEE OCEANS - Bergen, Bergen, Norway, 2013, pp. 1-7, doi: 10.1109/OCEANS-Bergen.2013.6608097.
2. Palomeras, N., Carrera, A., Hurtós, N. et al. Toward persistent autonomous intervention in a subsea panel. *Auton Robot* 40, 1279–1306 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10514-015-9511-7>
3. Palomeras, N.; Peñalver, A.; Massot-Campos, M.; Negre, P.L.; Fernández, J.J.; Ridaio, P.; Sanz, P.J.; Oliver-Codina, G. I-AUV Docking and Panel Intervention at Sea. *Sensors* 2016, 16, 1673. <https://doi.org/10.3390/s16101673>
4. N. Palomeras, P. Ridaio, D. Ribas, and G. Vallicrosa, "Autonomous I-AUV docking for fixed-base manipulation," *Proc. IFAC*, vol. 47, no. 3, pp. 12 160–12 165, 2014
5. R. Pi, P. Cieślak, P. Ridaio and P. J. Sanz, "TWINBOT:

Autonomous Underwater Cooperative Transportation," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 37668–37684, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063669.

6. *Electric Manipulators tested for Offshore Wind O&M by University of Girona* / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://reachrobotics.com/blog/electric-manipulators-conduct-ndt-for-offshore-wind-platforms/> (дата обращения: 19.03.2025).

7. *Kawasaki Receives Order for SPICE, World's First AUV with Robot Arm for Subsea Pipeline Inspections* [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail?f=20210518_2075 (дата обращения: 19.03.2025).

8. *Kawasaki AUV deploys SPICE robot arm for pipeline tests offshore Japan* [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://www.offshore-mag.com/pipelines/article/14288354/kawasaki-auv-deploys-spice-robot-arm-for-pipeline-tests-offshore-japan> (дата обращения: 19.03.2025).

9. Филаретов В.Ф., Зуев А.В., Тимошенко А.А. Идентификация параметров взаимодействия звеньев подводных манипуляторов с вязкой средой для точного автоматического выполнения манипуляционных операций. Часть 2. Мехатроника, автоматизация, управление. 2025;26(3):128-138.

10. Коноплин, А. Ю., Михайлов, Д. Н., Костенко, В. В., Юрманов, А. П., Красавин, Н. А., Борейко, А. А. Разработка автономного подводного робота, предназначенного для выполнения манипуляционных операций [Текст] / Коноплин, А. Ю., Михайлов, Д. Н., Костенко, В. В., Юрманов, А. П., Красавин, Н. А., Борейко, А. А. // Перспективные системы и задачи управления. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара. — 2023. — С. 534-538.

11. Коноплин, А. Ю., Пятавин, П. А. Метод автоматической стыковки необитаемых подводных аппаратов с подводными платформами с использованием бортовых многозвенных манипуляторов [Текст] / Коноплин, А. Ю., Пятавин, П. А. // Подводные исследования и робототехника. — 2024. — № 2 (48). — С. 38-47. — УДК: 626.02.008.

12. Коноплин, А. Ю., Красавин, Н. А., Василенко, Р. П. Система стабилизации АНПА с дополнительным двигателем для компенсации динамических воздействий со стороны многозвенного манипулятора [Текст] / Коноплин, А. Ю., Красавин, Н. А., Василенко, Р. П. // Подводные исследования и робототехника. — 2023. — № 3 (45). — С. 20-29. — УДК: 626.02.008.

13. Cheramie, Jami, and Alan Anderson. "Developing the Next Generation of Pipeline Inspection AUV." Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, May 2023. doi: <https://doi.org/10.4043/32559-MS>

14. Маевский, А. М., Занин, В. Ю. Развитие отечественных подходов к созданию искусственного интеллекта как базовых технологий бортовых систем управления морскими робототехническими комплексами резидентного типа [Текст] / Маевский, А. М., Занин, В. Ю. // Морские информационно-управляющие системы. — 2024. — № 1(25). — С. 48-59.

15. Занин В.Ю., Маевский А.М. / Минпромторг России // Морская наука и техника. Научно-технический журнал, специальный выпуск, № 17, октябрь 2024 г. — С. 104-108.

16. Nikushchenko, D., Maevskiy, A., Kozhemyakin, I., Ryzhov, V. A., Bondar, A., Goreliy, A., Pechaiko, I., & Nikitina, E. (2023). Development of a Cascade Intelligent System for Path Planning of the Group of Marine Robotic Complexes. *Journal of*

Marine Science and Engineering, 11(3), Article 610. <https://doi.org/10.3390/jmse11030610>

17. А.М. Маевский, И.В. Кожемякин Применение систем искусственного интеллекта в морской робототехнике: мировой уровень и возможности развития в РФ // Морские информационно-управляющие системы. — 2021. — № 1(19). — С. 24-34.

18. 6G modems make the connection between data and decisions / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://www.sonardyne.com/case-studies/autonomous-seismic-data-gathering/> (дата обращения: 19.03.2025).

19. Christensen, Leif, Hilljegerdes, Jens, Zipper, Michael, Kolesnikov, Andrej, Hülsen, Benjamin, Koch, Christian, Hildebrandt, Marc, Danter, Leon. The Hydrobatic Dual-Arm Intervention AUV Cuttlefish [Текст]. — 2022. — С. 1-8. — DOI: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977150.

20. Rumson, A. (2021). The application of fully unmanned robotic systems for inspection of subsea pipelines [Текст] / Rumson, A. // *Ocean Engineering*. — 2021. — Т. 235. — С. 109214. — DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.109214.

21. Kartal, S.K.; Cantekin, R.F. Autonomous Underwater Pipe Damage Detection Positioning and Pipe Line Tracking Experiment with Unmanned Underwater Vehicle. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024, 12, 2002. <https://doi.org/10.3390/jmse12112002>

22. Юрманов А.П., Панчук М.О., Коноплин А.Ю. Метод коррекции траекторий рабочего органа многозвенного манипулятора необитаемого подводного аппарата Подводные исследования и робототехника, №4(46), с. 43-51. (год публикации - 2023) https://doi.org/10.37102/1992-4429_2023_46_04_04

23. Коноплин А. Ю., Красавин Н. А., Юрманов А. П., Пятавин П. А., Костенко В. В., Быканова А. Ю. Разработка комплекса методов для автономного выполнения технологических операций манипуляционными подводными аппаратами // *Вестн. ДВО РАН*. 2024. No 1. С. 54–71. <http://dx.doi.org/10.31857/S0869769824010044>. EDN: leqds

24. Филаретов В.Ф., Губанков А.С., Горностаев И.В. Метод формирования программной скорости движения рабочего инструмента многостепенного манипулятора. Мехатроника, автоматизация, управление. 2020;21(12):696-705. <https://doi.org/10.17587/mau.21.696-705>

25. Nikushchenko, D., Maevskiy, A., Kozhemyakin, I., Ryzhov, V. A., Goreliy, A., & Sulima, T. (2022). Development of a Structural-Functional Approach for Heterogeneous Glider-Type Marine Robotic Complexes' Group Interaction to Solve Environmental Monitoring and Patrolling Problems. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(10), Article 531. <https://doi.org/10.3390/jmse10101531>

26. Маевский, А. М., Занин, В. Ю. Разработка модульно-унифицированных систем управления манипуляторными комплексами и автономными необитаемыми подводными аппаратами интервенционного класса для решения задач автоматического пробоотбора грунта [Текст] / Маевский, А. М., Занин, В. Ю. // ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ. — 2023. — № 3 (55). — С. 148-158.

27. Маевский, А. М., Гайкович, Б. А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов [Текст] / А. М. Маевский, Б. А. Гайкович // Современные подходы и перспективные технологии в проектах освоения нефтегазовых месторождений российского шельфа. — 2019. — № 2 (39). — С. 29-40.

28. Маевский, А. М. Применение гетерогенной группы

автономных планеров для формирования морских рубежей безопасности [Текст] / А. М. Маевский // МИР робототехники. — 2023. — № 2. — С. 121-125.

29. Резидентная робототехника как эффективный инструмент обеспечения подводных газо- и нефтепромыслов / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/dobycha/707830-rezidentnaya-robototekhnika-kak-effektivnyy-instrument-obespecheniya-podvodnykh-gazo-i-neftepromyslo/> (дата обращения: 19.03.2025).

30. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Вести газовой науки, (2(39)), 2019. С. 29–40

31. 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.

32. 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

33. 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: ФГБУН МГИ. – Режим доступа: http://mhiras.ru/news/news_201904151055.html, свободный, 2019. – С. 395–398.

34. 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.

35. Palomeras, N., Peñalver, Toni, Massot-Campos, Miquel, Vallicrosa, Guillem, Negre, Pep, Fernandez, J. Javier, Ridaio, Pere, Sanz, Pedro, Oliver, Gabriel, Palomer, Albert. I-AUV Docking and Intervention in a Subsea Panel [Текст]. — 2014. — DOI: 10.1109/IROS.2014.6942870. — IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – НЕИЗБЕЖНАЯ КОМПОНЕНТА СУВЕРЕННЫХ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РОССИИ

Авторы: С.А. Тимашев, А.В. Бушинская.

Научно-инженерный центр «Надежность и безопасность больших систем и машин» УрО РАН Екатеринбург, ул. Студенческая, 54А

В соответствии с Морской Доктриной Российской Федерации утверждённой Президентом Российской Федерации 31.07.2022 г., первоочередным приоритетным функциональным направлением и задачами морской деятельности РФ в контексте рассматриваемой проблемы являются:

- обеспечение национальной безопасности и технологической независимости Российской Федерации в сфере безопасности объектов морской инфраструктуры;
- развитие и безопасное функционирование стратегических морских трубопроводных систем по транспортировке углеводородного сырья.

При этом Доктрина имеет в виду, что эти цели будут обеспечены за счет:

- экосистемного подхода (рассмотрения морской среды и происходящих в ней процессов во взаимосвязи, как единого целого) в условиях активного антропогенного воздействия;
- прогнозирования опасных гидрометеорологических, гидрофизических и сейсмологических явлений, представляющих угрозу для населения прибрежных районов, береговой зоны, буровых платформ, и подводных трубопроводов;
- мониторинга состояния подводных трубопроводов как потенциально опасных объектов, с целью предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, снижения возможного ущерба от техногенных катастроф;
- внедрения передовых цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла морской техники на базе искусственного интеллекта. Несмотря на то, что в Доктрине этот пункт относится к военно-морской технике, он должен в полной мере относиться и к гражданской технике, в том числе, морским подводным трубопроводам.

Межведомственный экспертный совет по безопасности морских подводных трубопроводов (МЭС МПТ) использует все приведенные выше положения Морской Доктрины при создании суверенных норм проектирования и эксплуатации МПТ, что позволит МЭС внести весомый вклад в проведение эффективной национальной морской политики и активизацию морской деятельности, что является одним из приоритетов Российской Федерации в XXI веке и требует консолидации усилий всех причастных сторон.

К настоящему времени МЭС МПТ провел обширную и очень полезную работу по инвентаризации мировых достижений в этой области и составил ряд первых редакций норм необходимых для проектирования и безопасной эксплуатации Российских МПТ с учётом многих достижений отечественной науки и технологии [1-12]. Результаты этой работы служат тем фундаментом, на котором строится система норм, обеспечивающих технологическую независимость (суверенность) морского подводного трубопроводного транспорта России.

Вместе с этим, необходимо отметить, что всё еще отсутствуют ответы на ряд принципиальных вопросов, без которых создание суверенных отечественных норм безопасности МПТ невозможно. Кроме того, остаются значительные инфопробелы в теории риска МПТ, которые предстоит ликвидировать, используя достижения и новейшие разработки отечественной фундаментальной и прикладной науки и технологии.

Риск эксплуатации морских подводных трубопроводов, как стратегически важных сложных инфраструктур, является определяющим индикатором качества их функционирования. В настоящее время существует консенсус относительно того, что в основу таких норм необходимо положить следующие принципы: Дизайн отечественных МПТ должен (1) охватывать весь их жизненный цикл (ЖЦ) и (2) быть основан на современных концепциях управления сложными системами по критериям безопасности и риска в условиях динамической многофакторной неопределенности [13-15].

Стандарты по безопасности МПТ, вкпе с метрологией и надзорной деятельностью, должны ускорить достижение технологической независимости России и обеспечить максимально быстрое развитие отечественного морского трубопроводного транспорта. Использование в разрабатываемых нормах значений вероятностей отказа (ВО) МПТ и ущербов от них по западной статистике неприемлемо, поскольку она никак не отражает опыт эксплуатации отечественных МПТ. Разрабатываемый пакет норм необходимо принципиально чётко гармонизировать как с требованиями и положениями актуальной отечественной и зарубежной нормативной базы в части обоснования и обеспечения безопасности МПТ, так и, в первую очередь, с императивным требованием скорейшего обеспечения технологического суверенитета в контексте Морской Доктрины РФ.

Поэтому эти нормы должны (1) быть полностью основаны на таких (пока отсутствующих) российских риск-ориентированных технологиях, которые более прогрессивны чем западные, и (2) учитывать/использовать новейшие достижения механики разрушения, цифровизации, искусственного интеллекта, теории надежности, живучести, безопасности и анализа риска. При этом качество анализа риска должно соответствовать уровню важности эксплуатируемой инфраструктуры. В самом деле, невозможно построить инновационные нормы, основанные на риске, когда сам риск оценивается с недостаточной точностью. Нельзя чисто побриться, используя топор, даже если он хорошо наточен.

Анализ доступных автору отчетов о проведении внутритрубной дефектоскопии отечественных наземных трубопроводов показывает, что они выполняются на сравнительно низком технологическом уровне. В отчетах: 1) отсутствуют оценки погрешностей измерений присущих конкретно данному внутритрубному инструменту (ВТИ) при его исполь-

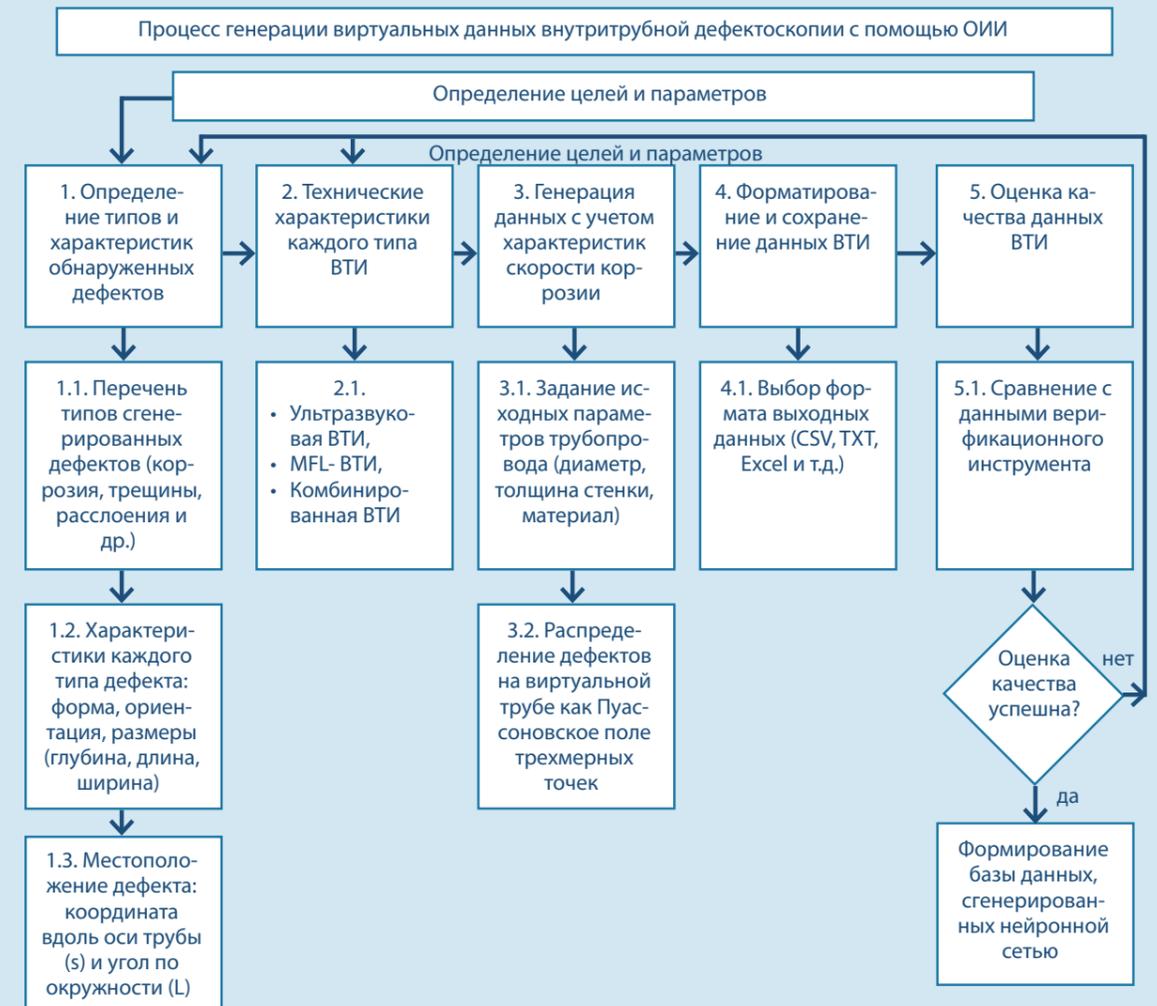


Рис. 1. Применение ИИ при генерации базы данных результатов виртуальной внутритрубной диагностики МПТ

зовании для диагностики конкретного трубопровода; 2) отсутствуют оценки вероятности пропуска опасных дефектов; 3) число верифицированных измерений обнаруженных дефектов статистически незначимо (не превышает 10, а должно быть не менее 40, лучше 50 измерений дополнительного контроля ДДК), что практически обесценивает, с точки зрения анализа риска, всю процедуру дорогостоящей внутритрубной диагностики.

Ключевой технологией, которая единственно может обеспечить требуемое качество оценки риска МПТ, является такая риск-ориентированная технология их диагностики, мониторинга, и обслуживания (технического обслуживания, ремонта и восстановления после аварии или инцидента), которая способна, по уровню своей разработки, снабжать лиц, принимающих решения (ЛПР) всеми данными, необходимыми для объективной оценки эксплуатационного риска МПТ и принятия максимально взвешенного решения, которое минимизирует потери и оптимизирует прибыль.

Требуется разработка принципиально новой технологии внутритрубной диагностики (ВТД) морских подводных не-

фтегазовых трубопроводов, которая обеспечивает их риск-ориентированную эксплуатацию. Используемая в настоящее время технология ВТД безнадежно устарела и непригодна для реализации риск-ориентированных методов проектирования и эксплуатации трубопроводов и оборудования ТЭК России в XXI веке. Проблема усугубляется тем, что неприемлемость использования в отечественных нормах статистики ВО зарубежных МПТ и величин ущербов от них, ставит во весь рост вопрос: откуда брать состоятельную статистику для российских МПТ, которая принципиально не существует в природе?

Ответ на этот вопрос можно получить, только если использовать искусственный интеллект ИИ для построения базы данных результатов виртуальной ВТД цифрового двойника конкретного МПТ, запроектированного по существующим нормам и эксплуатируемого по правилам ведомства или владельца/оператора трубопровода.

На рис. 1 представлена блок-схема процесса генерации такой базы данных с использованием аппарата объяснимого ИИ в виде искусственной нейронной сети с использованием

характеристик (1) реального трубопровода, (2) используемого инновационного ВТИ, (3) параметров коррозионного процесса, характерного для inspected трубопровода, и др.

На рисунке 2 представлено дерево решений по эксплуатации данного МПТ [16], из которого видно, что все решения, принимаемые соответствующими ответственными лицами (ЛПР), основываются на множестве данных структурированных для максимальной формализации риска данного решения, что также требует использования аппарата объяснимого ИИ.

Таким образом, можно констатировать, что существует императивная потребность в проведении целого комплекса фундаментальных ориентированных и прикладных исследований связанных с ликвидацией пробелов в знаниях и технологиях, необходимых для скорейшего создания суверенных норм проектирования и эксплуатации МПТ России.

НИЦ «Надежность и безопасность больших систем и машин» УрО РАН, основываясь на своей более чем 30-летней систематической научно-практической работе в области надежности, живучести и безопасности трубопроводных систем, которая получила международное признание [17], предлагает создать инновационную, не имеющую мировых аналогов прорывную технологию эксплуатации трубопроводных систем, состоящую из (1) интеллектуальных внутритрубных инструментов (ВТИ) нового типа, позволяющих одновременно обеспечить как измерение, так и верификацию всех параметров измеренных дефектов [18], как для однослойных труб, так и для труб с защитным покрытием; (2) программный комплекс (ПК) построенный на принципах объяснимого искусственного интеллекта (ОИИ), один из модулей которого позволяет вычислять, по данным измерений, все семь метрик точности ВТИ, в том числе вероятность пропуска/ложного обнаружения опасных дефектов [19].

ПК позволяет также осуществлять: (1) расчет прочности, надежности и живучести эксплуатируемого трубопровода по действующим нормам, (2) расчет риска эксплуатации трубопроводов на всем их жизненном цикле как функцию времени, с учетом каждого природного и технологического вмешательства, а также принятой стратегии их диагностики, мониторинга, ремонта и восстановления [16].

Предлагаемая инновационная технология позволяет осуществлять стопроцентно суверенную риск-ориентированную оптимизацию эксплуатации критически и стратегически важных трубопроводных систем РФ по критерию ROI (возврата инвестиций) при одновременном обеспечении необходимого уровня их безопасности. Эта технология будет конкурентоспособной на внешнем рынке, как и предусмотрено Морской Доктриной РФ

Анализ структуры учреждений Минобрнауки, которые находятся под научным руководством РАН показывает, что вопросами безопасности критически и стратегически важных инфраструктур предметно занимается очень узкий круг институтов (и это объективно отражено в персональном составе МЭС), что явно недостаточно для достижений целей и задач, которые решает МЭС МПТ в контексте Доктрины России в области национальной безопасности.

В связи с этим, а также учитывая, что в настоящее время МЭС является чисто общественной организацией и не имеет приводных ремней к планам НИР учреждений подведомственных РАН и Минобрнауки, представляется целесообразным создать в составе НИЦ УрО РАН, лабораторию МЭС по использованию объяснимого искусственного интеллекта (ОИИ) для решения фундаментальных ориентированных и прикладных проблем безопасности морских подводных трубопроводов. В эту лабораторию можно пригласить молодых специалистов-выпускников магистратуры УрФУ по специ-

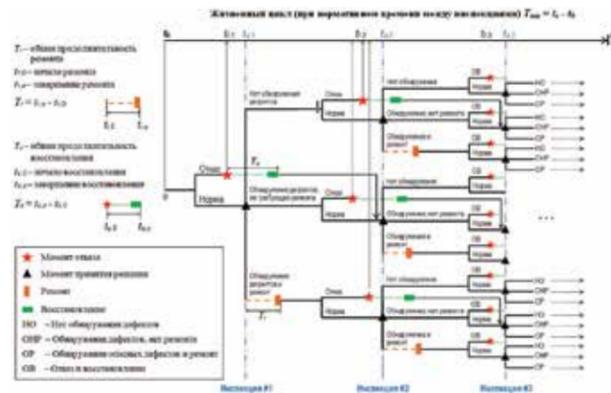


Рис. 2. Обобщенная стохастическая последовательность «Решение #1 – Событие #1 – Решение #2 – Событие #2 –...» на жизненном цикле МПТ; t_0 – начало ЖЦ, t_e – конец ЖЦ

альности «Искусственный интеллект в инженерии безопасности строительных объектов», руководителем которой является автор.

Нам представляется, что эта лаборатория в первую очередь должна быть нацелена на проведение следующих междисциплинарных исследований (что не исключает другие задачи, могущих представлять интерес для операторов МПТ):

- A. В области технологий диагностики и обслуживания:
 - Разработка, совместно с НТЦ «Нефтегаздиагностика», интеллектуального инспекционного снаряда для диагностики и мониторинга МПТ с использованием ОИИ;
 - Разработка, с использованием ОИИ, метода измерения риска с необходимой для управления эксплуатацией МПТ точностью через физически измеримые характеристики точности применяемых диагностических технологий и методов верификации получаемых с их помощью измерений;
 - Создание программного комплекса оценки всех семи вероятностных метрик: точности обнаружения, идентификации и измерения параметров дефектов и аномалий формы и геометрии МПТ, характерных для отечественных внутритрубных дефектоскопов;
- Разработка алгоритмов определения вероятностей обнаружения и вероятностей пропуска дефектов/трещин/аномалий опасных размеров, основанные на вероятности проведения ремонтов по результатам каждой инспекции;
- Разработка методологии диагностики двухслойных газопроводов с синхронным применением магнитных и ультразвуковых внутритрубных дефектоскопов.
- B. В области анализа риска:
 - Создание цифровых квазидвойников проектируемых и эксплуатируемых МПТ;
 - Моделирование квазиполной группы сценариев эксплуатации и аварийных ситуаций характерных для МПТ на континентальном, Балтийском, Каспийском и Черноморском шельфах России с использованием междисциплинарного подхода;
 - Построение полного стохастического жизненного цикла МПТ;
 - Разработка алгоритма и программного комплекса расчета риска МПТ на полном его жизненном цикле с использованием ОИИ;
 - Оценка и минимизация углеродного следа МПТ на фазе его активной эксплуатации;

- Разработка моделей нагрузок и воздействий на МПТ, характерных для Российского шельфа, в виде случайных величин, функций, или полей;
- Разработка, с использованием ОИИ, алгоритма и программного комплекса управления риском МПТ на базе целевой функции, которая адекватно отражает общую стоимость владения МПТ на его полном ЖЦ с использованием ОИИ;
- Разработка, с использованием ОИИ, алгоритма и программного комплекса двухцелевой процедуры оптимизации: (1) ожидаемых затрат на техническое обслуживание в течение жизненного цикла с учетом инспекций и ремонтов и (2) максимального годового значения риска в течение жизненного цикла МПТ;
- Разработка метода мейнтенанса, основанном на коэффициенте возврата инвестиций ROI;
- Разработка количественных методов оценки вероятностей всех типов отказов (предупреждающих, триггерных, предкритических, аварийных);
- Анализ мировых трендов в области безопасности МПТ.

Разработанные в таком ключе нормы допускают быструю модернизацию и будут служить естественным драйвером прогресса по всем направлениям создания и эксплуатации отечественных МПТ.

В результате выполнения перечисленных выше разработок будет создана отечественная методика компьютерного моделирования полного стохастического жизненного цикла Российского морского трубопровода как стратегической инфраструктуры, базирующаяся на отечественной технологии диагностики, мониторинга и мейнтенанса МПТ, которая включает в себя полную группу метрик точности используемых диагностических инструментов, и их верификацию, позволяющих получать: 1) состоятельные оценки вероятности наступления нежелательного события на каждой фазе их жизненного цикла; 2) остаточный риск после каждого вмешательства в функционирование объекта; и 3) величину риска принятия каждого управленческого решения, связанного с проектированием и эксплуатацией МПТ.

Реализация вышеизложенного позволит:

- привести эксплуатацию отечественных МПТ в полное соответствие с федеральным законом ФЗ от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.09.2024),
- решить поставленную в 2024 году руководством страны задачу достижения технологического лидерства в области безопасности МПТ, как следующего шага в развитии при обеспечении технологического суверенитета [20]. Достичь такого амбициозного результата возможно только опираясь на саккумулированные МЭС прорывные достижения фундаментальной и практически-ориентированной науки страны.

НИЦ УрО РАН обращается к руководству МЭС МПТ и Морской Коллегии России с просьбой поддержать высказанные предложения, которые позволят Центру, в синергетической кооперации со всеми организациями, входящими в МЭС, Союзом нефтегазопромышленников России и РАН, внести свою лепту в обеспечение технологического суверенитета России

и реализации её Морской доктрины и Морской стратегии. Это также позволит выполнить требование Минобрнауки в части востребованности научных результатов российской промышленностью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Р 412-81 Рекомендации по проектированию и строительству морских подводных нефтегазопроводов. – М.: ВНИИСТ, 1981. – 110 с.
2. ВСН 51-9-86. Проектирование морских подводных нефтегазопроводов. – М.: Мингазпром, 1987. – 42 с.
3. СТО Газпром 2-3.7-069-2006. Расчет устойчивости на дне подводных трубопроводов. – М.: ИРЦ Газпром, 2006. – 43 с.
4. СП 378.1325800.2017 Свод правил. Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства. – М.: Стандартформ, 2018. – 36 с.
5. НД 2-020301-005 Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. – Санкт-Петербург, 2017. – 178 с.
6. НД 2-090601-007 Рекомендации по проектированию, постройке и эксплуатации морских подводных трубопроводов. – Санкт-Петербург, 2019. – 101 с.
7. НД 2-030301-002 Руководство по техническому наблюдению за постройкой и эксплуатацией морских подводных трубопроводов.
8. СТП-МЭС 04-001-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Основные принципы обоснования безопасности по критериям риска.
9. СТП-МЭС 04-002-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Понятийный аппарат обоснования безопасности. Основные термины и определения.
10. СТП-МЭС 04-005-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Оценка опасности дефектов и повреждений трубопроводов.
11. СТП-МЭС 04-006-2023 Морские подводные трубопроводы Обоснование безопасности. Технологии и методы ремонта МПТ. Общие положения.
12. СТП-МЭС 04-004-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности по критериям риска. Общие положения и требования.
13. Махутов Н.А., Лещенко В.В., Шмаль Г.И., Концептуальные основы безопасности подводных трубопроводов // Морская наука и техника, спец. выпуск №5., ч. 1, 2022.
14. Шмаль Г.И., Тимашев С.А. Первоочередные безотлагательные задачи создания норм проектирования и эксплуатации безопасных морских подводных трубопроводов России. // Морская наука и техника, специальный выпуск № 12, май 2024 г.
15. Лепихин А.М., Лещенко В.В., Махутов Н.А. Проблемы и возможности развития концепции риска технических систем // Вычислительные технологии, 2023, том 28, № 4, с. 22–34. DOI:10.25743/ICT.2023.28.4.003
16. Тимашев С.А., Бушинская А.В. Методика моделирования сценариев риск-ориентированного жизненного цикла морских подводных трубопроводов России // Морская наука и техника: Безопасность морских подводных трубопроводов и объектов, 2024. №16. С. 28–35.
17. Timashev S.A., Bushinskaya A.V. Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems, Springer, 2015.
18. Патент RU2444675C2-2009-11-30. С.А. Тимашев, А.Н. Тырсин. Способ внутритрубной диагностики глубины дефектов стенки трубы.
19. Timashev S.A., Kuzmin A.B. A powerful tool for assessing locations of defects missed-out by ILI // Proc. of Intern. Pipeline Conf. IPC2004. – Calgary, Alberta, October 4-8, 2004, #98.
20. Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО И РАДИООБОРУДОВАНИЯ

Аннотация: В статье дается краткое описание итогов комплекса работ по созданию импортозамещающего судового навигационного и радиооборудования. Разработанное оборудование, совместно с уже ранее разработанным в рамках ГП «Развитие судостроения» оборудованием, а также оборудованием, разрабатываемым в рамках других проектов оборудованием, составляет полностью импортозамещающий комплект судового радио и навигационного оборудования для судов пассажирского, торгового и промыслового, вспомогательного флотов России востребованный заказчиками.

Ключевые слова: Импортозамещение, судовое навигационное оборудование, судовое радиооборудование.

Авторы: Вавилов Д.В. - АО «ЦНИИ «Курс», главный инженер,
Дворников К.А. - АО «ЦНИИ «Курс», заместитель генерального директора.

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация особое внимание уделяет развитию морского транспорта, как фактору развития экономики. Для реализации постоянно растущих грузопотоков необходимо обеспечить взамен устаревших судов и обеспечению растущих потребностей создания новой морской техники. Для решения этой задачи в России выработаны различные меры государственной поддержки.

Меры государственной поддержки развития судостроения

- Субсидии на приобретение (строительство) новых судов, взамен сданных на утилизацию [1];
- Субсидии на уплату % по кредитам на закупку судов и лизинговым платежам [2];
- Субсидии на строительство судов- краболовов на верфях ДФО [3];
- Субсидии на строительство судов рыбопромыслового флота [4];
- Субсидии на строительство крупнотоннажных судов [5].

привели к активизации строительства гражданских судов на отечественных верфях.

Вместе с тем, при строительстве большинства проектов гражданских судов по-прежнему использовалась значительная доля иностранного судового комплектующего оборудования.

Ужесточение санкций со стороны недружественных государств с началом специальной военной операции привело к тому, что в адрес большинства судостроительных заводов от основных иностранных производителей судового комплектующего оборудования поступили уведомления о прекращении дальнейшего сотрудничества. А в рамках уже заключённых договоров иностранные поставщики отказались от исполнения своих обязательств.

В результате строительство большого количества судов было приостановлено в постройке.

Попытки использования параллельных («серых») схем были связаны с серьезными рисками и показали свою неэффективность. Переход на поставки от других иностранных производителей вел от одной импортозависимости к другой. Ряд китайских предприятий сразу повысили цены для заказчиков из России. Кроме того, ряд поставщиков также высказывали «санкционные опасения».

В связи с этим, Минпромторг активизировал работу по импортозамещению судового комплектующего оборудования. Совместно с судостроительными предприятиями были определены наиболее критические позиции судового комплектующего оборудования для различных типов судов, на создание и

внедрение в серийное производство которого были выделены государственные субсидии [6].

В рамках этих мероприятий, АО «ЦНИИ «Курс» выполнил комплексную работу по созданию комплекса средств радиооборудования и навигационного оборудования для всех типов судов.

Созданный комплекс призван заменить полностью захвативших российский рынок судового радиоэлектронного оборудования изделия фирм Furuno, Simrad, Lowrance, Raymarine, Humminbird.

Следует отметить, что при создании судового радиоэлектронного оборудования приходится проводить двойное импортозамещение. Ведь отечественная электронная компонентная база также отставала от зарубежных аналогов.



Рис. 1. Состав приборов РДР



Рис. 2. Лаг высокочастотный

МОРСКОЕ НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Морское навигационное оборудование предназначено для оснащения судов всех типов с целью обеспечения безопасности судоходства, эффективного прохождения водных маршрутов любой сложности и удовлетворения требованиям надзорных органов [7].

Одним из важных и необходимых элементов комплекта радиоэлектронного оборудования судна является регистратор данных о рейсе (VDR).

Система записи данных предназначена для всех судов, которые должны соответствовать требованиям Международной конвенции IMO SOLAS (IMO Res.A.861(20)) для сбора данных с различных датчиков на борту судна.

Хотя основной целью VDR является расследование происшествий после их совершения, записанные данные могут быть использованы и для других целей: технического обслуживания, мониторинга эффективности работы, анализа ущерба от стихийных бедствий, предотвращения ДТП и обучения для повышения безопасности и снижения эксплуатационных расходов.

В состав разработанного ЦНИИ «Курс» РДР входят:

- Устройство долгосрочной регистрации данных;
- Источник бесперебойного питания.
- Блок сбора и преобразования информации.
- Дополнительный блок сбора информации (ДБСИ).
- Защищенный накопитель информации фиксированной конструкции;
- Накопитель информации свободно-всплывающей конструкции системы «КОСПАС-САРАТ» с учетом требований по включению модуля АИС (Н-СВ);
- Выносной блок сигнализации и управления.
- Блок микрофонный – 8 шт.
- Общее программное обеспечение.
- Специальное программное обеспечение.

С участием соисполнителей создан лаг высокочастотный «КАРАТ ЛД 380» предназначен для определения продольной составляющей абсолютной и относительной скорости водоизмещающих морских и речных судов, а также судов класса река-море, вычисления пройденного расстояния и выдачи информации в судовые системы-потребители.

Для перспективных скоростных неводоизмещающих судов разработан радиодоплеровский лаг «РДЛ-5» предназначенный

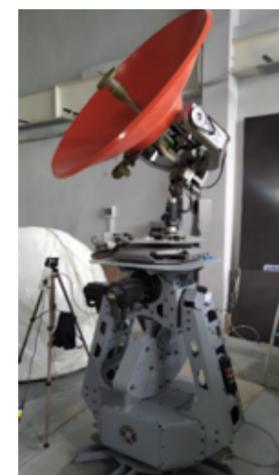


Рис. 5. Судовая земная станция VSAT



Рис. 3. Аппаратура гироскопического компаса «Альфа-СНС»



Рис. 4. Судовая система единого времени

для выработки относительной скорости и ее составляющих при движении судна и выдачи информации, необходимой для судовождения, работы технических средств и систем.

Гироскоп на волоконно-оптических гироскопах – «Альфа-ГК»- представляет собой гироскоп, который дополнительно к информации о курсе вырабатывает углы бортовой и килевой качки, угловые скорости изменения углов качки и курса и предназначен для применения в качестве основного судового оборудования для обеспечения задач навигации и безопасности плавания на судах различных классов.

Также создан судовый гироскопический компас «Альфа-СНС» на волоконно-оптических гироскопах для морских судов различного назначения, интегрированный с мультиантенной приемной аппаратурой глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС/GPS, дополнительно обеспечивающий выработку параметров ориентации и навигации, точность которых не зависит от широты места.

В рамках проведенных работ создана судовая система единого времени, предназначенная для использования на морских судах для отображения и распределения на борту судна информации о местном времени (Local time) и Всемирном координированном времени (UTC).

Аппаратура системы обеспечивает:

- формирование, хранение шкалы времени и привязку ее к сигналам международной службы времени, передаваемым от приёмников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS;
- возможность централизованного сдвига индицируемых показаний текущего времени с шагом 1 мин;
- индикацию значений текущего времени в часах, минутах, секундах на главной часовой станции (первичных часах);
- трансляцию сигналов точного времени на ведомые (вторичные) часы в часах, минутах, секундах;
- синхронизацию данных о времени на всех ведомых часах.

Кроме того, разработан типоряд многофункциональных индикаторов (с диагональю 3,5, 7 и 10 дюймов) с ЖК дисплеем предназначен для использования на морских судах в качестве универсального репитера для обеспечения визуальной индикации навигационных данных, полученных в форме NMEA предложений, предусмотренных международным стандартом МЭК61162 с возможностью ретрансляции полученной инфор-



Рис. 6. ПВ/КВ-радиостановка



Рис. 7. Внешний вид корпуса терминала УБПЧ



Рис. 8. Носимая радиостанция

мации. Создание многофункционального индикатора позволило унифицировать построение радиоэлектронных приборов различного назначения.

Этой же цели служила разработка типоряда источников бесперебойного питания (ИБП) постоянного тока предназначен для судовых потребителей постоянного тока с напряжением 24 В (судовое радио и навигационное оборудование, в том числе глобальной морской системы оповещения о бедствии и безопасности (ГМССБ), а также системы управления динамическим позиционированием и систем автоматизации. Выходная номинальная мощность изделия от 400 Вт до 1600 Вт в зависимости от исполнения.

Источники бесперебойного питания переменного тока предназначен для судовых потребителей однофазного переменного напряжения 220 В. Выходная номинальная мощность изделий от 3 кВт до 15 кВт.

СУДОВОЕ РАДИООБОРУДОВАНИЕ

Судовое радиооборудование - это комплекс систем и устройств, обеспечивающих обмен информацией между судном и береговыми станциями, а также с другими судами. Оно играет важную роль в обеспечении безопасности плавания, а также в навигации и контроле положения судна на море [8].

В рамках проведенных работ создана судовая земная станция VSAT.

VSAT (Very Small Aperture Terminal) — станция спутниковой связи с малой апертурой антенны, работающая как на приём, так и на передачу. Создан типоряд этих систем, с антенными постами с диаметром антенны 100 см, 120 см, 130 см, работающих как в Кч-диапазоне, так и в С-диапазоне.

Для работы VSAT используют спутники на геостационарных орбитах, которые передают данные от малых спутниковых станций (терминалов) на Центральную земную станцию (HUB) в случае конфигурации типа «звезда», или на другие терминалы в случае конфигурации «mesh».

Основная возможность систем морского VSAT — это предоставление широкополосного доступа к сети Интернет на судне, передаче данных и телефонии. Однако возможность применения сервисов на базе морского VSAT может быть значительно шире, нежели просто Интернет и телефон. Возможность организации широкополосного спутникового канала на судне позволяет внедрить ряд новых сервисов и услуг, ранее недоступных вследствие отсутствия дешёвого канала передачи данных. Такими сервисами могут быть видеоконференц-связь, дистанционное подключение и управление, мониторинг судовых параметров с берега и многое другое.

Основу любого радиооборудования судна является оборудование ГМССБ или GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System).

ГМССБ – это международная система, использующая современные наземные, спутниковые и судовые системы ра-

диосвязи, разработана членами Международной морской Организацией (ИМО) и представляет собой существенное усовершенствование способов аварийной связи. Все суда, попадающие под действие Международной Конвенции о безопасности жизни на море, должны полностью соответствовать требованиям ГМССБ.

В состав образца входят:

- антенный пост;
- антенная система;
- система электропитания;
- радиопрозрачное укрытие (РПУ);
- оборудование подпалубной установки.

Гиростабилизированная антенная система с антенной апертурного типа, параболической формы эквивалентным диаметром 1,0 м, 1,2 м, 1,3 м включает в себя:

- опорно-поворотное устройство (ОПУ);
- рефлектор;
- облучающую систему;
- усилитель мощностью 8; 16 Вт (в зависимости от комплектации);
- малошумящий усилитель;
- модуль управления и контроля.

Оборудование подпалубной установки включает в себя:

- источник бесперебойного питания (ИБП);
- коммутатор Ethernet;
- блок управления антенной;
- маршрутизатор (спутниковый модем).

Также разработано основное радиооборудование ГМССБ:

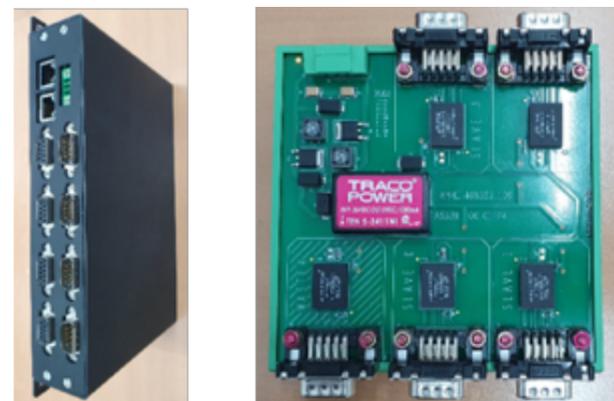


Рис. 9. Внешний вид приборов размножения и сопряжения

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ СУДОВОГО НАВИГАЦИОННОГО И РАДИООБОРУДОВАНИЯ

- приемник НАВТЕКС;
- ПВ/КВ-радиостановка;
- УКВ-радиостановка.

ПВ/КВ-радиостановка обеспечивает, в том числе, следующие категории оповещений с использованием радиотелефонии и ЦИВ для целей:

- 1 бедствия, срочности и безопасности;
 - 2 передачи информации, необходимой для эксплуатации судна;
 - 3 общественной корреспонденции.
- и включает:
- 1 передатчик/приемник с антенной;
 - 2 встроенный и выносной(ые) пульт(ы) управления с телефонной трубкой и встроенным или выносным громкоговорителем;
 - 3 встроенное или выносное устройство узкополосного буквопечатающего;
 - 4 встроенное или выносное устройство ЦИВ;
 - 5 специальный приемник, обеспечивающий непрерывное наблюдение за оповещениями ЦИВ.

Система оповещения NAVTEX предусматривает необходимость судового буквопечатающего телеграфного оборудования с автоматическим опознаванием.

УКВ радиостановка обеспечивает радиотелефонную связь и цифровой избирательный вызов (ЦИВ) в зоне действия УКВ и должна включать в себя:

- приемопередатчик с антенной, микротелефонной трубкой и встроенным или выносным громкоговорителем (далее по тексту - радиостанция);
- встроенный или выносной пульт управления;
- устройство ЦИВ;
- специальный приемник для несения непрерывной вахты на 70 канале в режиме ЦИВ;
- блок питания, обеспечивающий автоматическое переключение на резервный источник при выходе из строя основной питающей сети.

Созданное судовое устройство для приема и передачи текстовых сообщений, является компонентом глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ).

В состав терминала аппаратуры устройства буквопечатающего (УБПЧ) входят:

- приемно-передающая аппаратура УБПЧ;
- программное обеспечение УБПЧ.

Информация отображается на дисплее или печатается на принтере.

Также разработан комплект носимых радиостанций для связи судно-судно и судно-воздух.

Современное судовое радио и навигационное оборудование, несмотря на то, что каждый образец оборудования является самостоятельной единицей, однако осуществляется информационное взаимодействие между ними по стандартизированным протоколам передачи данных. В связи с этим, была осуществлена разработка универсальной судовой сети обмена данными Оборудование для судовой сети обмена данными обеспечивает высокоскоростной информационный обмен между подключаемыми абонентами и совместный доступ к сетевым устройствам по стандартным интерфейсам RS 442/485 и протоколам обмена данными, а также сбор видеоданных от судового оборудования и передачу этих данных на панель видеостены.

Универсальная судовая сеть обмена данными включает в себя:

- устройства связи навигационного оборудования;

- устройства связи через интерфейс RS 442/485;
- приборы сбора видеоданных от судового оборудования и передачи этих данных на панель видеостены;
- прибор для дублирования навигационных данных, поступающей по входному каналу на четыре выходных канала;
- прибор для преобразования навигационных данных, поступающих по 8 портам RS-422/485 в Ethernet;
- прибор для формирования изображения для вывода на видеостену.

Таким образом, создана техническая основа для осуществления комплексных поставок радиоэлектронного оборудования на все типы судов в комплектации, удовлетворяющей требованиям заказчика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных АО «ЦНИИ «Курс» вместе с соисполнителями работ изготовлены опытные образцы и получены сертификаты РМРС на все созданное радио и навигационное оборудование.

Разработанное оборудование, совместно с уже ранее разработанным в рамках ГП «Развитие судостроения», а также оборудованием, разрабатываемым в рамках других проектов оборудованием, составляет полностью импортозамещающий комплект судового радио и навигационного оборудования для судов пассажирского, торгового и промышленного, вспомогательного флотов России востребованный заказчиками. Данный комплект повышает технологический суверенитет России в области судостроения.

Следует отметить, что мировые тенденции на рынке морского приборостроения ведут к тому, что заказчики, как правило, не стремятся к покупке отдельных радиотехнических судовых устройств, а пытаются обеспечить комплексное оснащение судна навигационным и радиооборудованием у одного поставщика.

По этому пути идут и уже упомянутые лидеры мирового судового приборостроения- Furuno, Simrad, Lowrance, Raymarine, Humminbird, предлагая на рынке комплексные решения задачи оснащения судна.

Аналогичный комплект формируется теперь и у предприятий АО «КМП».

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации № 502 от 27.04.2017
2. Постановление Правительства Российской Федерации № 383 от 27.12.2019
3. Постановление Правительства Российской Федерации № 1138 от 29.07.2020
4. Постановление Правительства Российской Федерации № 1917 от 27.12.2019
5. Постановление Правительства Российской Федерации № 1584 от 17.12.2019
6. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 2 августа 2021 г. N 2916 "Об утверждении плана мероприятий по импортозамещению в судостроительной отрасли Российской Федерации на период до 2024 г. и о признании утратившим силу приказа Минпромторга России от 1 марта 2019 г. N 580"
7. Российский морской регистр судоходства Правила по оборудованию морских судов Часть V Навигационное оборудование
8. Российский морской регистр судоходства Правила по оборудованию морских судов Часть IV Радиооборудование.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СУДНО «НЕПТУН»



О модернизации и первых работах специального технического судна «Нептун»

В ходе проведения работ по ремонту морских подводных трубопроводов (МПТ) в акватории Каспийского моря со временем стало очевидно, что для ускорения работ, большего удобства и обеспечения безопасности хорошо бы иметь в своем распоряжении специализированное судно, оснащенное соответствующей техникой. Исходя из задач, возникающих при проведении подводно-технических и ремонтных работ на нефтегазовых объектах были сформулированы требования к судну. Это должно быть достаточно компактное, маневренное, хорошо оснащенное судно, с хорошей мореходностью, автономность не менее 30 дней, имеющее на борту достаточные мощности по электричеству, насосам. Обязательное условие - 4х якорное крепление с возможностью перемещения на них, желательна способность самостоятельно заводить эти якоря без привлечения дополнительного судна, возможность работы эжекторами с двух бортов и кормы, наличие погружного насоса, грузоподъемных механизмов. При этом необходима свободная рабочая палуба для размещения ремонтных конструкций, мешков с гравием, водолазной станции, досмотрового ROW и другого оборудования. И конечно возможность размещения на борту не менее 10-15 человек персонала помимо судовой команды – водолазов, операторов, ИТР, включая инспектора РМРС, под наблюдением которого осуществляются работы на МПТ.

Очевидно, что стандартные суда, имеющиеся в доступности, как правило не в полной мере отвечают указанным запросам, что требует либо привлечения дополнительных вспомогательных судов, либо серьезного дооснащения судна перед выходом на работы.

В 2022 году, для оптимизации работ, проводимых компанией, было принято решение о приобретении и модернизации в соответствии с указанными требованиями судна для работы прежде всего на Каспии. В Туапсе было приобретено аварийно-спасательное пожарное судно «НЕПТУН», осуществлен его перегон в Астрахань на «Волго-Каспийский судоремонтный завод» где и была осуществлена модернизация и его дооснащение.

К началу навигации 2024 года судно было полностью готово и приступило к ремонту 6-ти критически опасных дефектов на двух морских подводных трубопроводах.

Итак: судно «Нептун» — пилотный проект судна специального назначения по обслуживанию и ремонту МПТ, позиционируется как экспериментальная научно - техническая площадка для внедрения современного, инновационного оборудования, используемого в обеспечении безопасности морских подводных систем и сооружений. Работы проводятся при информационно-консультативном участии Межведомственного экспертного совета по безопасности МПТ и объектов, а также отдела морской техники, технического регулирования и интеллектуальной собственности департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России.

Судно изначально было оснащено как пожарное, у него штатное, насосное оборудование обладающее отличной производительностью, суммарно 2000куб/час - ДПЖ Н14. Они стоят в пожарном отделении, стационарно, ниже ватерлинии, им

легко закачивать воду, у них очень хорошие характеристики для эжекторов, это классические средства, которые применяются у нас водолазами. Стандартные эжекторы имеют выкидной шланг на 100-150м., этого явно недостаточно и приводит к длительному выполнению работ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ

В ходе модернизации судна «Нептун» в кормовой части установлена П-рама, для крепления погружных. Спроектирован и изготовлен специальный авторский эжектор. В расчет были взяты производительность давления напорных пожарных насосов ДПЖ Н14. Он отличается от классических тем, что у него круговой и центральный размыв.

Преимущества специального технического судна «Нептун» состоит в том, что он осуществляет более деликатный размыв грунта. Эжектора ЭУ-200 более мобильные, легкие, что фактически исключает возможность повреждения трубопровода. Мы выбрали оптимальный компромиссный вариант, приемлемый для нас, как по производительности по грунту, так и по массогабаритным характеристикам и мощности двигателя. Оснастили судно погружным насосом с гидроразрывом на 55 КВт., производительностью 450 кубов в час по воде. Установили две фрезы, которые предварительно рыхлят грунт, что тоже очень хорошо, так как на Каспии грунты глинистые, твердые и плотные.

ПЕРВЫЕ РАБОТЫ

В навигацию 2024 году прошли первые работы специального технического судна «Нептун». Все планы и цели, которые были поставлены достигнуты.

Углубления проводилось разными техническими средствами: погружным насосом с гидроразрывом, который предоставила «НТЦ «Нефтегаздиагностика», и эжекторами от штатной насосной системы ДПЖ Н14.

Для проведения ремонта было разработано 6 котлованов, после чего в эти котлованы были установлены ремонтные муфты. Данные работы были проведены водолазами так же с судна «Нептун».

По итогу работ в 2024 году можно уверенно констатировать, что наша ставка на специализированное ремонтное судно оправдалась на все 100%. Во-первых, серьезный запас по производительности мощностей на раскопку и перемещения грунта с компактного судна дает очень большой выигрыш по времени. Практически не было простоев на смену технологических операций, все работы проводились достаточно быстро и безопасно. Все запланированные работы были выполнены практически в два раза быстрее.

Судно «Нептун», как никакое другое подходит для работ по обеспечению эксплуатации и ремонта морских подводных трубопроводов и объектов в акватории Каспийского моря.

«Нептун» - выполняет свою работу быстро, качественно и эффективно. Мы и далее намерены не останавливаться, будем совершенствовать технологии подготовки и выполнения работ.

Лещенко В.В. - генеральный директор НТЦ "Нефтегаздиагностика", заместитель председателя МЭС



Надежные решения для управления судовыми двигателями

Компания РИАТОМ – ведущий поставщик систем управления судовыми двигателями для речных и морских судов.

Наши разработки гарантируют высокую точность, надёжность и результативность в функционировании морских судов.

Имеются все необходимые сертификаты, лицензии, допуски, в том числе свидетельства Российского классификационного общества и Российского Морского Регистра Судоходства.



Системы автоматического управления двигателями и дизель-генераторами повышение безопасности и управляемости судов.

Блоки питания и зарядные устройства – стабильное электроснабжение судовых систем.

Комплексные решения для судоремонтных предприятий модернизация и повышение эффективности производства.

Системы аварийно-предупредительной сигнализации и защиты.

Регуляторы частоты вращения судовых двигателей.

Контроллеры.

Рукояти судоводителя.

Шкафы управления.

- Надежность – проверенные технологии, соответствие стандартам.
- Индивидуальный подход – адаптация решений под требования заказчика.
- Поддержка 24/7 – консультации и техническое сопровождение.
- Импортзамещение.
- Снижение эксплуатационных затрат – современные технологии для оптимизации работы судов.
- Возможность индивидуальных заказов и новых разработок под точные технические требования с прохождением всех сертификационных проверок.

Мы работаем с большинством судостроительных заводов нашей страны, судоремонтными предприятиями и операторами морского транспорта, помогая им внедрять инновационные системы управления и диагностики.



Адрес: 656023, г. Барнаул, ул. Малахова, 1
Email: riatom@riatom.ru
Сайт: www.riatom.ru
Телефон: +7 964 083-55-07, +7 3852 25-21-08

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

В 2025 году особое внимание уделяется развитию Северного морского пути, а значит, роль военно-морского флота и его обеспечения на данном участке мирового океана продолжает оставаться приоритетным в развитии судостроения.

Силами ЗАО «Спецсудопроект» были подготовлены несколько проектов специальных судов, предназначенных для деятельности в условиях ледового флота. Наиболее успешными примерами таких судов являются проекты 23120 и 23130.

Проект 23130 разработки ЗАО «Спецсудопроект» — это средний морской танкер дедвейтом около 9000 т с наибольшей длиной около 130 м, шириной около 21,5 м, осадкой около 7,3 м, дальностью плавания до 8000 миль, автономностью 60 суток.

Основная задача таких судов – материально-техническое обеспечение кораблей российского флота, находящихся в дальних походах. Для этого на танкере предусмотрено хранения различных ГСМ, запасных частей

инструментов и приспособлений, продовольствия и др. Танкер с помощью устройства передачи грузов траверсным способом может выдавать на корабли и суда перевозимые грузы на правый и левый борты одновременно, а также, с помощью устройства передачи грузов кильватерным способом топливо и воду в корму на третье судно. Дополнительно на судне предусмотрена вертолётная площадка для приёма и передачи груза на подвесе.

Перевозка, а тем более передача грузов в море, связана с опасностью экологических происшествий, поэтому на первый план выходит метод управления рисками и реализация в проекте всех необходимых конструктивных мероприятий противодействия загрязнению.

Первое судно серии проекта 23130 претерпел много



изменений и фактически является модернизацией своего головного заказа.

Проведённые испытания головного судна подтвердили практическую возможность реализации заявленных тактико-технических характеристик и дали толчок к доработке серийных судов проекта. После успешно пройденных испытаний и сдачи головного судна, Заказывающее управление Министерства обороны заключило контракт на строительство ещё трёх судов с учётом доработок и изменений.

Кроме того, уже в 2023 году, проект был подвержен повторной корректировке в части замены комплектующего оборудования, поставка которого стала невозможной из-за санкций недружественных стран.

В 2025 году ожидается сдача Заказчику первого судна в серии проекта 23130 «Василий Никитин». Судно названо в честь генерал-полковника Василия Никитина (1914-1984), который долгие годы являлся начальником Службы горючего Вооружённых Сил СССР.

Учитывая возможность эксплуатации танкеров в соответствии с символом класса «Arc 4», в российской акватории арктических морей, при проектировании ЗАО «Спецсудопроект» соблюдало все экологические нормы, предусмотренные международными конвенциями и классификационными обществами. На судах проекта 23130 хранение и утилизация мусора осуществляется в строгом соответствии с мировыми правилами и конвенциями, слив вод производится исключительно через систему САЗРИУС (судовая система автоматического замера, регистрации и управления сбросом), приём и выдача балластных - через СУБВ (система управления балластными водами), на судне размещена системы ЛАРН

На танкере применена оптимальная форма корпуса с точки зрения сопротивления, что позволило применить пропульсивную установку с минимальной мощностью, обеспечивающую заданные параметры скорости. Энергоэффективность судна соответствует мировым стандартам, что позволяет максимально эффективно расходовать топливо, являющееся основным источником загрязнения окружающей среды.

(ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов), применено огромное количество поддонов по всему судну, слив с которых осуществляется в отдельные цистерны сбора протечек. Указанные системы в совокупности с выполнением требований правил и международных конвенций, реализованных в инструкциях по эксплуатации, сводят к минимуму возможность нанесения вреда экологии.



Перевозка, а тем более передача грузов в море, связана с опасностью экологических происшествий, поэтому на первый план выходит метод управления рисками и реализация в проекте всех необходимых конструктивных мероприятий противозагрязнения.



На танкере применена оптимальная форма корпуса с точки зрения сопротивления, что позволило применить пропульсивную установку с минимальной мощностью, обеспечивающую заданные параметры скорости. Энергоэффективность судна соответствует мировым стандартам, что позволяет максимально эффективно расходовать топливо, являющееся основным источником загрязнения окружающей среды.

В развитии экологической темы хочется отметить особое отношение ЗАО «Спецсудопроект» к расчётам прочности. Срок службы танкера составляет 40 лет, а расчёт его прочности выполнен на соответствие правилам РС, после чего дополнительно проверен методом конечных элементов. Всё это, а также грамотный выбор основных размеров, материалов и толщин корпуса, системы набора, применение двойного дна и бортов сводят к минимуму возможность экологических катастроф, имевших место в акватории Азовского и Черного морей в недавнем прошлом.

На протяжении сорокалетнего жизненного цикла судна проекта 23130 предусмотрено три заводских ремонта, во время которых всё оборудование и корпус будут подвергнуты дефектации и ремонту.

Высокое качество ремонтной документации, разработанной ЗАО «Спецсудопроект», позволит подготовиться к очередному ремонту заранее и выполнить весь комплекс работ без лишних финансовых и временных потерь. Такой подход так же является одним из элементов управления рисками, позволяя быть уверенным в

надлежащем техническом состоянии танкера в течение всего срока службы.

Хочется отметить, что с точки зрения экологических стандартов, проект 23130 обладает запасом под модернизацию и может быть улучшен в части применения системы очистки выхлопных газов от оксидов азота и серы по стандарту Tier III. В настоящее время в России отсутствуют такие системы, поэтому в проекте были использованы аналоги, направленные на повышение энергоэффективности и так же снижающие содержание вредных веществ по актуальному, но более низкому классу Tier II. На судне для снижения температуры и концентрации вредных веществ используются утилизационные котлы и искрогасители. Как уже было сказано, это позволяет снизить потребление топлива и использовать энергию выхлопных газов для нужд судна.

Причинами экологические происшествия, как правило, становится пренебрежение к требованиям и нормам, принятым международными конвенциями и классификационными обществами, поэтому ответственный проектант должен в максимальной степени реализовывать в проекте конструктивные и организационно-технические мероприятия, направленные на сохранение планеты для будущих поколений.

*Заместитель главного конструктора
ЗАО «Спецсудопроект» А.В. Жерносек*

ЗАО «СПЕЦСУДОПРОЕКТ»
ОПЫТ. КОМПЕТЕНЦИИ. РЕЗУЛЬТАТ.
ЗДЕСЬ ПРОЕКТИРУЮТ БУДУЩЕЕ.
ПРОСТЫЕ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ!



СПЕЦСУДОПРОЕКТ

ОБЛАСТЬ НАШЕЙ КОМПЕТЕНЦИИ СОСТАВЛЯЮТ

- СУДА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ
- ТАНКЕРЫ
- СУДА С ВЫСОКИМ КЛАССОМ АВТОМАТИЗАЦИИ
- ГАЗОВОЗЫ
- САМОХОДНЫЕ ПЛАВУЧИЕ КРАНЫ
- СУХОГРУЗНЫЕ СУДА
- ГРУНТООТВОЗНЫЕ ШАЛАНДЫ
- КАБЕЛЬНЫЕ СУДА
- СТОЕЧНЫЕ СУДА
- РЫБОЛОВНЫЕ СУДА
- БУКСИРЫ
- ПАССАЖИРСКИЕ И СЛУЖЕБНО-РАЗЪЕЗДНЫЕ КАТЕРА



S-S-P.RU

Санкт-Петербург, Коломяжский пр. д. 27, лит. А

Тел. 8 (812)7777-995

Факс 8 (812) 7777-965

S-S-P@S-S-P.RU

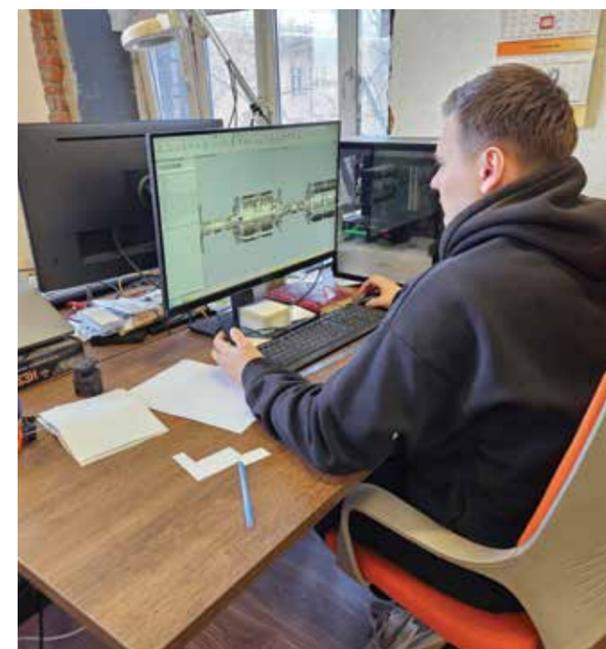
РАЗРАБОТКА СНАРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДВОДНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ: КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ДОСТИЖЕНИЯ КОМПАНИИ «ОКБ НЕФТЕГАЗДИАГНОСТИКА»

В последние годы диагностика подводных нефтегазопроводов стала одной из важнейших задач для обеспечения безопасности трубопроводных систем. Морские нефтегазопроводы подвергаются воздействию множества факторов, что требует регулярного контроля их состояния. Перед компанией «ОКБ Нефтегаздиагностика» стояла сложная задача — разработать комплекс внутритрубных приборов для диагностики подводных нефтегазопроводов. Мы успешно разрабатываем и тестируем комплексы приборов для ВТД диагностики, включая геометрические и магнитные MFL дефектоскопы.

ЗАДАЧА И ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ

Перед нашей компанией стояла задача разработать комплексы внутритрубных приборов, которые бы обеспечивали высококачественную диагностику подводных нефтегазопроводов. В рамках этого проекта были

созданы приборы для магнитной дефектоскопии, которые смогут эффективно выявлять дефекты, такие как коррозия и трещины, на различных типах труб. Процесс разработки привел к созданию конструктивной документации (КД) на пять типоразмеров приборов для диагностики, а также проведению испытаний прототипов.



РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

Разработка приборов оказалась сложной инженерной задачей, в ходе которой мы столкнулись с множеством проблем. Одной из сложных задач было создание компактной электроники, что особенно важно для внутритрубных приборов, где пространство ограничено. Тем не менее, нам удалось разработать системы, которые позволили встроить необходимую электронику, сохраняя при этом высокую функциональность и надежность.

ПРОХОДИМОСТЬ СНАРЯДОВ КАК КРИТИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Важнейшей задачей при разработке приборов для подводных нефтегазопроводов является обеспечение их проходимости. В отличие от наземных нефтегазопроводов, где застревание прибора в трубе не приведет к таким серьезным последствиям, в случае с подводными нефтегазопроводами эта проблема может обернуться многомиллиардными убытками. Поэтому, при проектировании наших приборов, мы учитывали все возможные сложности, связанные с проходимостью через различные диаметры труб и особенности подводных нефтегазопроводов. Это делает задачу создания дефектоскопов для подводных труб архисложной и требует применения наиболее передовых технологий и инженерных решений.

РАЗРАБОТКА МАГНИТНЫХ СНАРЯДОВ

Что касается магнитных приборов, основной задачей было обеспечить эффективное промагничивание толстой стенки трубы. Стандартные технологии, использующие металлические щетки для передачи магнитного поля, не подходили для наших условий. Мы разработали более сложную систему, в которой магнитное поле передается непосредственно с помощью магнитов, скользящих по стенке трубы с минимальными потерями магнитного поля. Эта система оказалась гораздо более сложной в проектировании и производстве, но результат оправдал усилия.

ИСПЫТАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы провели серию испытаний наших приборов, как в лабораторных, так и в полевых условиях. Несмотря на технические сложности, наши решения показали отличные результаты, и мы уверены в их эффективности для диагностики подводных нефтегазопроводов. Важно отметить, что приборы, которые мы разрабатываем, значительно улучшили качество диагностики. Время на выполнение диагностики остаётся прежним, но качество получаемых данных на порядок выше. Это позволяет точнее определять дефекты, такие как коррозия или трещины, что очень важно для оперативного принятия решений.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кроме того, мы разрабатываем программное обеспечение, которое будет использовать искусственный интеллект для анализа полученных данных. Этот софт значительно снижает риск ошибок человека и сокращает время, необходимое для анализа данных и подготовки отчётов. Применяя такие технологии, мы значительно повышаем точность диагностики и эффективность всего процесса.

БУДУЩЕЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Мы продолжаем работать над усовершенствованием наших решений и уверены, что наше оборудование сыграет важную роль в обеспечении безопасности подводных нефтегазопроводов. Наша компания продолжит разрабатывать новые технологии и искать пути повышения эффективности диагностики, чтобы сделать её более доступной, быстрой и точной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект по разработке внутритрубных приборов для диагностики подводных нефтегазопроводов стал важным этапом для «ОКБ Нефтегаздиагностика». Мы гордимся достигнутыми результатами, но понимаем, что впереди ещё много работы. Мы уверены, что наши разработки окажут значительное влияние на безопасность эксплуатации нефтегазопроводных систем и помогут предотвратить аварии.

О КОМПАНИИ

«ОКБ Нефтегаздиагностика» выросла из материнской компании НТЦ «Нефтегаздиагностика», и с 2024 года стала самостоятельной организацией, сосредоточившейся на проектировании и производстве оборудования. Материнская компания теперь ориентирована на предоставление услуг по диагностике, в то время как мы занимаемся созданием инновационных решений для отрасли.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

okbngd.ru
work@okbngd.ru
+7(495)233-59-59

*С уважением, генеральный директор
«ОКБ Нефтегаздиагностика»
Тимофей Викторович Лещенко*



КОРРОЗИЯ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ

Аннотация: Коррозия нефтепроводных и насосно-компрессорных труб является большой проблемой для добывающей отрасли, поскольку аварии по ее причине приводят к существенным экологическим последствиям и экономическим потерям. Коррозионное разрушение металла труб зависит от множества переменных факторов. Внешние факторы характеризуют условия эксплуатации: содержание (парциальное давление) коррозионно-агрессивных газов, общее давление системы, температура, степень обводненности, pH среды и др. Внутренние факторы характеризуют материальное исполнение и качество используемых труб: химический состав, механические свойства, микроструктура и ее однородность, наличие посторонних включений и дефектов, состояние внутренней поверхности труб.

Снижение негативного влияния всех вышеперечисленных факторов является комплексной задачей, включающей мероприятия по подбору материалов под конкретные условия эксплуатации, способов защиты, а также проведение коррозионного мониторинга, позволяющего контролировать и прогнозировать скорость коррозии, сроки службы, определять эффективность, результативность и целесообразность использования применяемых антикоррозионных мероприятий. В настоящей статье приведен обзор основных механизмов разрушения металла трубопроводов и информация о способах защиты от коррозии.

Ключевые слова: морские трубопроводы; коррозия; транспортируемая среда; механические примеси; биоценоз; антикоррозионная защита.

Авторы: Юдин Павел Евгеньевич – канд. техн. наук, директор по науке ООО «НПЦ «Самара».
Петров Сергей Степанович – канд. физ.-мат. наук, начальник аналитического отдела ООО «НПЦ «Самара».
Веревкин Александр Григорьевич – канд. хим. наук, директор по развитию ООО «НПЦ «Самара».
Максимук Андрей Викторович – управляющий ООО «Научно-производственный центр «Самара».

ООО «НПЦ «Самара» имеет многолетний опыт проведения различного рода материаловедческих, технических и строительно-технических экспертиз, оказываемых в рамках досудебных претензионных работ и при сопровождении арбитражных судебных процессов. Основной профиль работ компании — это экспертизы в области исследования металлов, сплавов, полимеров и других материалов, определение соответствия их свойств требованиям стандартов, а также установление наиболее вероятных причин их разрушения в ходе эксплуатации. Проведение судебных и внесудебных экспертиз осуществляется в испытательной лаборатории ООО «НПЦ «Самара» в соответствии с действующим законодательством РФ, а именно: Федеральный закон от 05 апреля 2001 года № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации».

Испытательная лаборатория ООО «НПЦ «Самара» оснащена самым современным оборудованием и аккредитована на компетентность Федеральной службой по аккредитации в соответствии с требованиями ГОСТ ГОСТ ISO/IEC 17025— межгосударственный стандарт «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Область аккредитации лаборатории включает более ста методов испытаний и исследований. Лаборатория ООО «НПЦ «Самара» входит в реестры испытательных центров таких компаний как ПАО «Транснефть», ПАО «ГАЗПРОМ», ИЦ Сколково др., а также имеет техническую компетенцию по проведению испытаний в соответствии с требованиями Российского морского и речного регистров судоходства.

Штат компании состоит из высококвалифицированных экспертов, кандидатов химических, физико-математических, технических и экономических наук, что позволяет решать самые сложные технические задачи. В общей сложности сотрудниками ООО «НПЦ «Самара» опубликовано более 100 научных статей, получено более 10 патентов, издан учебник и монография.

Отдельным направлением деятельности является законотворчество. Эксперты ООО «НПЦ «Самара» разрабатывают нормативные документы различного уровня: Технические условия, Единые технические требования компаний, СТО, ГОСТ. Компания является членом Технического комитета ПК 2ТК23 Нефтяная и газовая промышленность, а также ИСО ТК 67 «Нефтегазовая промышленность, включая низкоуглеродную энергетику».

Подводные добычные комплексы и трубопроводы являются основой систем добычи углеводородов на континентальном шельфе и их транспортировки конечным потребителям [1]. Эксплуатация морских трубопроводов имеет определенную специфику, требования к безопасности и надежности являются более высокими. Это обусловлено тем, что водные акватории более уязвимы и возможные аварии могут повлечь за собой катастрофические последствия [2].

В условиях морской добычи используются многокилометровые стальные трубопроводы для транспортировки сырой нефти и газа. Для обеспечения безопасности транспортировки флюида и снижения риска возникновения аварийных ситуаций при проектирова-

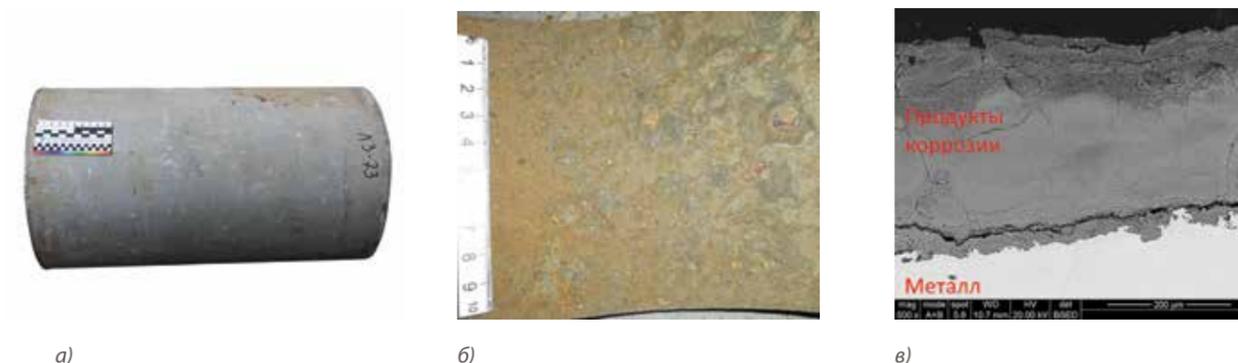


Рис.1 Коррозионное разрушение металла трубопровода Ø273x8 мм после 574 суток эксплуатации: а) Общий вид; б) Внутренняя поверхность; в) Морфология продуктов коррозии на внутренней поверхности трубопровода

нии и сооружении подводных трубопроводов используются самые современные достижения в области их строительства, повышенные требования промышленной безопасности, высококачественные трубы, сварочные и изоляционные материалы, системы контроля. Аварийность на участках подводных трубопроводов и на морских платформах довольно высока и поэтому должна учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации каждого трубопровода. По статистике 40 % аварий морских трубопроводов произошло по причине коррозии, причем процент разрушений трубопроводов по причине внутренней коррозии в два раза выше относительно случаев разрушения по причине наружной коррозии [4, 5].

Морская доктрина России и Стратегия национальной безопасности относят подводные добычные комплексы и трубопроводы к стратегически важным объектам экономики страны, и в качестве долгосрочных задач национальной морской политики рассматривают повышение эффективности их эксплуатации и предотвращение аварий и катастроф за счет совершенствования системы государственного надзора, разработки специальных норм и требований безопасности [1]. В связи с чем исследования и анализ причин разрушения, а также способов защиты морских трубопроводов от коррозии является крайне актуальной задачей.

Причины коррозии всегда определяются свойствами агрессивной среды, с которой контактирует поверхность трубопровода. Практика показывает, что коррозия трубопроводов вызвана присутствием в транспортируемой среде водной фазы. Высокая агрессивность среды обусловлена содержанием в ее составе большого количества растворенных коррозионно-активных газов (двуокиси углерода, сероводорода, кислорода), а также наличием механических примесей, соеотложений, колоний бактерий коррозионно-активного нефтяного биоценоза (последние в большинстве случаев способствуют интенсификации процессов коррозионного разрушения). Эти компоненты являются основными ос-

ложняющими факторами, приводящими к внутренней коррозии промышленных трубопроводов [6].

В процессе эксплуатации морские трубопроводы подвергаются воздействию как общей углекислотной или сероводородной коррозии, так и локальным видам коррозии аналогично трубопроводам наземной или подземной эксплуатации [6, 7]. Наиболее опасными из них являются механизмы, способствующие значительному (до 10 раз и более) увеличению скорости разрушения. К таким видам разрушения относятся: стресс-коррозия или коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением (СКРН), язвенная или питтинговая коррозия. Рассмотрим подробнее наиболее распространенные виды разрушений трубопроводов в процессе эксплуатации, встречающиеся в практике ООО «НПЦ «Самара».

Коррозионное разрушение металла трубопровода может протекать по механизму классической углекислотной коррозии, осложненной присутствием в транспортируемой среде коррозионно-активных соединений серы и хлора. На рис.1 представлен фрагмент трубопровода Ø273x8 мм после эксплуатации с наработкой 574 суток. Коррозионное разрушение металла в данном случае развивалось по механизму общей CO₂-коррозии, вызванной присутствием в транспортируемой среде углекислого газа. Данные энергодисперсионного анализа продуктов коррозии свидетельствуют о воздействии дополнительных факторов на процесс коррозионного разрушения в виде коррозионно-активных соединений серы и хлора, интенсифицирующих процесс коррозионного разрушения (таблица №1).

Частным случаем углекислотной коррозии является так называемая мейза-коррозия (рис.2), которая характеризуется обширными площадями локальных коррозионных повреждений, распространяющихся как в глубину, так и по плоскости [8]. Сущность механизма разрушения заключается в следующем: в присутствии углекислоты на поверхности металла образуются кар-

Элемент	C*	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe
Масс.%	20,16	49,52	1,47	0,13	0,32	0,44	0,41	27,55

Таблица №1. Химический состав продуктов коррозии

* в связи с использованием угольного напыления на плоскость шлифа, массовое содержание углерода может быть завышено.

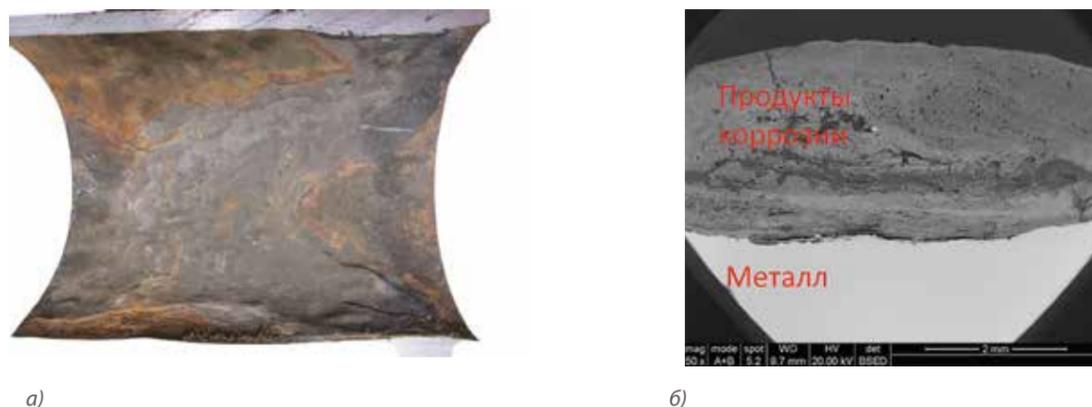


Рис. 2 Коррозионное разрушение металла трубопровода Ø219x8 мм по механизму мейза-коррозии после 1316 суток эксплуатации: а) Внутренняя поверхность; б) Морфология продуктов коррозии



Рис.4 Коррозионно-эрозионный износ трубопровода Ø720x10 мм эксплуатации: а, б) Внутренняя поверхность

бонатные минеральные отложения, которые частично удаляются потоком. Участки металла с отслоившимся осадком становятся анодами, а катодная стадия протекает на сохранившихся отложениях. Таким образом, на поверхности металла образуются активные коррозионные гальванические пары, приводящие к растворению анодов с экстремально высокими скоростями [6, 8].

Еще одним специфичным видом коррозии, характерным для трубопроводов, является «ручейковая» или «канавочная» коррозия, область локализации которой приходится на нижнюю образующую трубопровода (на 6 часов). На рис. 3 представлен фрагмент трубопровода Ø114x12 мм после 894 суток эксплуатации. Механизм «ручейковой» коррозии обусловлен взаимодействием металла трубы и перекачиваемой коррозионно-активной среды, которая содержит механические примеси [9]. В процессе взаимодействия на внутренней поверхности образуется слой отложений, разрушение которого происходит под действием механических или механохимических факторов. Обнаженный участок металла и поверхность трубы, покрытая осадком, образуют гальваническую пару, где металл служит анодом, а поверхность трубы – катодом, в результате чего начинается процесс интенсивного коррозионного разрушения, который приводит к образованию нового защитного слоя. Отслаивание сформированного защитного слоя вновь приводит к образованию активного анода и дальнейшей интенсификации процесса коррозионного разрушения. Таким образом, цикличность процессов отслаивания продуктов коррозии в результате воздействия среды приводит к интенсификации процесса коррозии вплоть

до полного разрушения металла трубы.

Присутствие механических примесей в транспортируемой среде может способствовать разрушению металла по коррозионно-эрозионному механизму (рис. 4). Скоростной поток транспортируемой среды, содержащий механические примеси, способствует эрозионному разрушению слоя отложений и продуктов коррозии со стенок водовода. В результате происходит обнажение металла и его переход в электрохимически активное состояние с образованием гальванической пары между обнаженным участком и остальной поверхностью трубы [10]. В данном случае, аналогично механизму протекания «ручейковой» коррозии, цикличность процессов разрушения слоя отложений или продуктов коррозии приводит к интенсификации процесса коррозии.

Следующим распространенным механизмом разрушения металла нефтепромысловых труб является коррозия, осложненная присутствием в транспортируемой среде бактерий коррозионно-опасного нефтяного биоценоза. К бактериям коррозионно-опасного нефтяного биоценоза относятся: анаэробные сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ) и аэробные группы бактерий (тионовые бактерии (ТБ), железooksисляющие бактерии (ЖБ), углеводородокисляющие бактерии (УОБ)) [11]. Пример разрушения трубопровода Ø168x14 мм под действием СВБ представлен на рис. 5.

Бактерии, находящиеся в транспортируемой среде, оседают и закрепляются на поверхности труб в местах шероховатостей или дефектов поверхностей. Прикрепляясь на поверхности металла, бактерии в благоприят-

ных для них условиях начинают расти и размножаться, образуя колонии клеток. Непосредственно само ускорение процесса растворения металла трубы обусловлено тем, что внутри язвы происходят процессы, связанные с деятельностью дифференцированно аэрированной ячейки и с катодной деполяризацией сульфидом железа, образующегося при взаимодействии с репродуцированным в результате жизнедеятельности бактерий (СВБ) сероводородом. Процесс бактериальной коррозии имеет сложный механизм протекания, подробно особенности протекания микробиологической коррозии представлены в работе [12].

К числу наиболее опасных видов разрушения относится сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением (СКРН) и водородное растрескивание (ВР), поскольку они приводят к появлению протяженных трещин (длиной до десятка метров) или обрыву колонны НКТ. В данной статье рассмотрим пример коррозионного растрескивания под напряжением фрагмента газопровода Ø457x20,62 мм после 245 суток эксплуатации в составе трубопровода сырого газа (рисунки 7). Перепад рабочих температур (от минус 1,6 °С до плюс 60 °С) способствует образованию конденсата на внутренней поверхности трубы, который, являясь электролитом, ини-

цирует процессы электрохимической коррозии. Тогда процесс коррозии протекает при образовании гальванопары между сульфидами железа (Fe₂S₃), образующимися на поверхности металла в результате окисления, и сталью. Продуктами коррозии являются сульфиды железа и водород, часть которого молизуется и переносится в транспортируемую среду, часть адсорбируется поверхностью металла и диффундирует в кристаллическую решетку, что, в свою очередь, при взаимодействии с внутренними и внешними напряжениями, приводит к появлению в металле трещин [13].

Существующая нормативная база позволяет оценить степень коррозионной агрессивности транспортируемых сред по содержанию и концентрации в среде агрессивных компонентов. Согласно действующей нормативной документации транспортируемая среда с концентрациями CO₂>0,2 МПа и/или H₂S>0,01 МПа при pH<7 уже является сильноагрессивной для труб нефтяного сортамента, что дает основания для принятия мер по антикоррозионной защите [14].

Основными направлениями по борьбе с коррозией внутренней поверхности трубопроводов являются применение различных технологических мероприятий,



Рис. 3 Ручейковая коррозия металла трубопровода Ø114x12 мм после 894 суток эксплуатации: а) Внутренняя поверхность; б) Сечение стенки трубопровода



Рис. 5 Коррозионное разрушение трубопровода Ø168x14 мм под действием бактерий коррозионно-опасного нефтяного биоценоза: а) Общий вид; б) Внутренняя поверхность

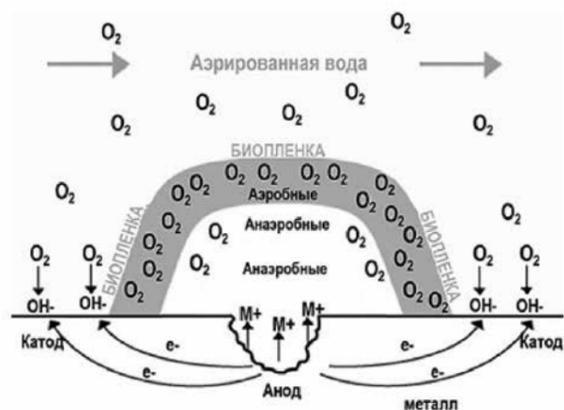


Рис. 6 Механизм разрушения металла трубопровода под действием бактерий коррозионно-опасного нефтяного биоценоза

к которым можно отнести следующие способы защиты [3]:

1. Коррозионностойкие и неметаллические материалы;
2. Ингибиторы коррозии;
3. Внутренние антикоррозионные покрытия;
4. Дегидратация газа;
5. Электрохимическая защита.

Одним из наиболее надежных решений является выбор оборудования в коррозионностойком исполнении. Однако из-за высокой стоимости такого материального исполнения для изготовления морского оборудования и трубопроводов используются углеродистые стали, требующие защиты от внутренней коррозии. Компромиссным решением является применение биметаллических труб, при эксплуатации которых коррозионно-активная среда контактирует с высоколегированной сталью, что делает риск коррозии минимальным, а механическую нагрузку несет низколегированная сталь. Применение данной технологии сопряжено с отсутствием необходимой нормальной базы, однако, в настоящее время ведется активная работа в данном направлении. Обсуждение каждой конкретной технологии выходит за рамки данной статьи, однако, следует отметить, что коррозия возможна даже на высоколегированных сталях аустенитного класса (типа 12X18H10T или AISI 316 L), при наличии ряда внутренних (например, присутствие в стали β -фазы) или внешних (высокое содержание ионов Cl⁻) факторов. При выборе любой технологии и материального исполнения в группу проектировщиков должны входить специалисты по коррозии, которые могут уточнить нюансы эксплуатации.

Дегидратация предполагает предотвращение выпадения влаги или удаление влаги. Технологические способы дегидратации сразу после выхода флюида из скважины зачастую сложно реализуемы или экономически нецелесообразны. Операции по удалению влаги обычно проводятся уже на берегу (на территории берегового комплекса) [4].

Еще одним эффективным способом защиты являются ингибиторы коррозии, защитное действие которых обусловлено воздействием на кинетику электрохимических реакций, лежащих в основе коррозионного процесса. Механизм защитного действия связан, в первую очередь,

с адсорбцией ингибиторов коррозии на границе металл – среда, т. е. с образованием на поверхности металлов защитных пленок. Результаты ранее выполненных ООО «Газпром ВНИИГАЗ» лабораторных испытаний в водных и водногликолевых средах различной концентрации показали, что ингибиторы коррозии могут способствовать снижению скорости коррозии ниже 0,1 мм/год [4]. Однако, эффективность применения данного способа защиты может быть низкой ввиду быстрого выноса ингибитора и срыва пленки ингибитора с защищаемой поверхности металла при высоких дебитах [15].

Одним из самых распространенных способов электрохимической защиты трубопроводов является протекторная защита. При использовании протекторной защиты к защищаемому объекту подсоединяется металл с более электроотрицательным потенциалом. При этом идет разрушение не конструкции, а протектора. Протекторы используются для защиты сооружений в нейтральных средах (морская или речная вода). Для изготовления протекторов используют такие металлы, как магний, цинк, железо, алюминий. Чистые металлы не выполняют в полной мере своих защитных функций, поэтому при изготовлении протекторов их дополнительно легируют [17].

Использование труб с внутренним покрытием считается одним из самых эффективных способов борьбы с коррозией. Применение различных типов защитных покрытий обусловлено их высокими эксплуатационными характеристиками: стойкостью к воздействию транспортируемой среды, снижением интенсивности образования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), повышением пропускной способности трубопроводов за счет низкой шероховатости внутренней поверхности, а также отсутствием влияния на прочностные характеристики металла труб [16].

Для трубопроводов использование внутренних антикоррозионных покрытий имеет определенные ограничения. В первую очередь это связано со сложностью обеспечения сплошности покрытия как при нанесении (в местах стыков), так и в процессе эксплуатации (образование дефектов и повреждений механического или другого характера) [4]. Кроме того, использование антикоррозионных покрытий для трубопроводов предполагает применение дополнительных способов защиты монтажного сварного шва в виде втулок или металлизации концов труб, что сложно реализовать в условиях эксплуатации морских трубопроводов. Отсутствие методов диагностики остаточного ресурса покрытия, качества монтажа втулок, скорости коррозии под втулками делает данный способ защиты рискованным для применения на морских трубопроводах, однако, реализация вышеперечисленных ограничений позволит внедрить наиболее дешевый и эффективный способ.

На практике, как правило, применяется комплексная антикоррозионная защита трубопроводов, выбор способа которой определяется условиями эксплуатации того или иного участка трубопровода. При комплексной защите для новых или эксплуатируемых трубопроводных систем, международными стандартами регламентировано при проектировании предусматривать обязательный коррозионный мониторинг участков трубопровода. Коррозионный мониторинг необходим для выявления на ранних стадиях зарождения коррозионных повреждений стенок трубы, изменения скорости коррозии, определения участков, на которых защита от коррозии неэффективна, а также отслеживания эффек-



Рис. 7 Сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением газопровода $\varnothing 457 \times 20,62$ мм в процессе эксплуатации: а) Внутренняя поверхность; б) Макроструктура; в) Микроструктура в области распространения трещин. Увеличение $\times 500$

тивности противокоррозионных мероприятий, принятых при эксплуатации трубопровода [18].

На сегодняшний день накоплен значительный опыт эксплуатации морских трубопроводов. Это накладывает особую ответственность на этап проектирования, на котором должны быть учтены все возможные способы эффективной безаварийной эксплуатации. Коррозионный процесс является сложной многофакторной системой, зависящей от комплекса переменных внешних и внутренних факторов, и требующий такого же комплексного подхода при контроле и изучении. Для решения данной актуальной проблемы требуется понимание причины разрушения. Найти решение возможно лишь при комплексном подходе к исследованию, при наличии большой научно-исследовательской базы, опыта, оснащения и высокой квалификации специалистов. Проработка данного вопроса и решение конкретных задач по изучению причин преждевременного выхода из строя трубопроводов позволит снизить аварийность оборудования в тех или иных условиях эксплуатации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Махутов Н.А., Шмаль Г.И., Лепихин А.М., Лещенко В.В., Надеин В.А. Основные направления решения проблемы безопасности подводных добычных комплексов и трубопроводов. Журнал «МОРСКАЯ НАУКА И ТЕХНИКА» Научно - технический журнал, специальный выпуск № 12 май 2024 г.
2. Мониц К. П. Перспективные материалы для повышения коррозионной стойкости морских трубопроводов // Проблемы функционирования систем транспорта. – 2022. – С. 47-48.
3. Запелалов Д. Н., Вагапов Р. К., Мельситдинова Р. А. Оценка коррозионных условий и решений по защите морских объектов от внутренней коррозии // Вести газовой науки. – 2018. – №. 4 (36). – С. 79-86.
4. Вагапов Р. К., Запелалов Д. Н., Ибатуллин К. А. О закономерностях протекания внутренней коррозии и противокоррозионной защите морских объектов в условиях присутствия повышенных количеств диоксида углерода // Вести газовой науки. – 2020. – №. 3 (45). – С. 81-92.
5. Поварова Л. В., Косова Д. А., Самарин М. А. КОРРОЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2. – С. 26-31.
6. Петров С. С. и др. Коррозионное разрушение металла нефтегазопроводных труб в процессе эксплуатации и при лабораторных испытаниях // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – №. 4. – С. 102-112.

7. Чилимская А. А. КОРРОЗИЯ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ // Научный редактор. – 2021. – С. 56.

8. Маркин А. Н., Низамов Р. Э. CO₂-коррозия нефтепромыслового оборудования. – 2003.

9. Melchers R. E. Internal corrosion of seabed 'parked' steel oil and gas pipelines // Ocean Engineering. – 2023. – Т. 276. – С. 114145.

10. Ilman M. N. et al. Analysis of internal corrosion in subsea oil pipeline // case studies in Engineering Failure Analysis. – 2014. – Т. 2. – №. 1. – С. 1-8.

11. Князева Ж.В., Юдин П.Е., Петров С.С., Максимук А.В., Прокудин А.В. Особенности эксплуатации насосно-компрессорных труб в условиях скважин коррозионного фонда // Коррозия «Территории «Нефтегаз». 2018. № 2 (40). С. 50–54.

12. Борисенкова Е.А., Сачкова Е.Н., Иоффе А.В. О механизме микробиологической коррозии сталей нефтепромыслового оборудования в условиях эксплуатации и в лаборатории // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. № 3 (39). С. 99–104.

13. Баев К.Е., Лебедев Д.О., Воронин К.С. Сероводородная коррозия трубопроводов и современные способы антикоррозионной защиты // Нефтегазовый терминал: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. им. профессора Н.А. Малюшина. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. С. 31–35.

14. ГОСТ Р 70926-2023 Трубы насосно-компрессорные с внутренним лайнером. Технические условия.

15. Князева Ж.В., Юдин П.Е., Петров С.С., Максимук А.В. Применение металлизационных покрытий для защиты погружных электродвигателей насосного оборудования от воздействия осложняющих факторов в нефтяных скважинах. Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2020. No. 1. С. 75–86. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2020-75-86.

16. Юдин П.Е., Петров С.С., Князева Ж.В., Андриянов Д.И., Сургаева Е.С. Причины преждевременного разрушения труб с внутренним антикоррозионным покрытием в нефтегазодобывающей отрасли и методы их исследования. Журнал Инженерная практика, №10, 2021 г. с.34-41.

17. Ремесник Д. В., Шпота А. А. Электрохимическая защита трубопроводов от коррозии // Ответственный редактор. – 2015. – С. 148.

18. Поварова Л. В., Косова Д. А., Самарин М. А. КОРРОЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 2. – С. 26-31.



ОЦЕНКА ЦЕЛОСТНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ТОМОГРАФИИ МАГНИТНЫХ ГРАДИЕНТОВ

Авторы: Воейков Денис Романович – Генеральный директор ООО «АКОРД-Технолоджи».
Колесников Игорь Сергеевич – технический консультант, автор изобретения, патентообладатель.

Поддержание работоспособности и оценка технического состояния подводных трубопроводов – одна из наиболее трудоемких задач в нефтегазовой отрасли. Системы подводных технологических и магистральных трубопроводов на разных глубинах, в разных климатических условиях, на участках с нестабильным морским дном под влиянием морских течений и на участках карстовых разломов и сейсмоактивных регионах подвержены высокому риску. Сбой в работе одного элемента таких сложных транспортировочных систем может привести к остановке всего процесса, а своевременное и оперативное реагирование на внештатную ситуацию зачастую невозможно.

В отличие от сухопутных трубопроводов, к подводным применяются повышенные требования безопасности из-за вышеперечисленных внешних условий, определяющих порядок своевременного обслуживания, обследования и ремонта. Прокладка трубопровода в агрессивной морской среде повышает вероятность

возникновения дополнительных постоянных и циклических механических нагрузок, которые приводят к появлению участков напряженно-деформированного состояния, способствующих развитию локальных напряжений в дефектных и бездефектных областях, что в свою очередь значительно увеличивает риск аварии. Аварии,



Рис. 5

произшедшие в силу данных причин, доказывают необходимость не только выявления дефектов, но и оценки механических напряжений, действующих как в отдельных зонах дефектов, так и распределенных по длине трубопровода при мониторинговых исследованиях.

Классический подход к оценке безопасности трубопроводов основан на определении геометрических размеров дефектов и расчете механических напряжений методом конечных элементов. Но абсолютно одинаковые по размерам дефекты на одном и том же трубопроводе могут представлять совершенно разную опасность в зависимости от действующих местных нагрузок, вызванных в том числе сторонними факторами. Такие факторы, как правило, не учитываются при применении классических методов диагностики и контроля, либо для их оценки просто используют дополнительные постоянные весовые коэффициенты. Более того, далеко не все трубопроводы можно обследовать классическими средствами диагностики в виду различных конструктивных, эксплуатационных и внешних обстоятельств.

МТМ-Г ОБСЛЕДОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ТНПА

Бесконтактный магнитометрический Метод Томографии Магнитных Градиентов (далее – МТМ-Г), разработан в РФ для оценки целостности стальных трубопроводов, особенно тех, к которым применение классических средств диагностики невозможно либо затруднено. Метод успешно применяется операторами трубопроводов из числа стран БРИКС и ОПЕК+ для комплексной диагностики на различных глубинах. Главная цель такой



Рис. 1



Рис. 2

диагностики – обнаружить и проанализировать зоны концентрации механических напряжений, чтобы предупредить переход объекта контроля в аварийное состояние. МТМ-Г позволяет добиться этого путем локализации и определения характеристик аномальных участков с учетом действующих механических напряжений.

Магнитометры «КОРД», созданные специально для МТМ-Г, сканируют естественное магнитное поле трубопровода по всей его длине, без контакта и вмешательства в режимы эксплуатации. Изменение механических напряжений в стенке трубы вызовет изменения в магнитном поле – аномалию – и на участках напряженно-деформированного состояния, и в зонах одиночных дефектов. Каждая обнаруженная аномалия анализируется с помощью алгоритмов обработки первичных («сырых») данных МТМ-Г. В результате для аномалий проводится расчет основных параметров безопасности (SCF, Psafe, ERF, Tsafe, RLA) согласно международной НТД (ASME B31.G, API RP 579, DNV RP-F105), где каждая аномалия ранжируется по степени опасности, характеризуется видами действующих напряжений (кольцевые, продольные) и типом особенностей (трещиноподобные, потеря металла, и т.д.). Результаты МТМ-Г позволяют операторам трубопроводов планировать техническое обслуживание, включая, но не ограничиваясь, определением предельных нагрузок и допустимых давлений, безопасные сроки эксплуатации для планирования ремонтов наиболее потенциально опасных участков с доказанной на практике высокой достоверностью.

Использование ТНПА рабочего/инспекционного (рис. 1) класса в качестве носителя МТМ-Г магнитометров по-

зволяет обследовать подводный трубопровод со средней скоростью 0.5 узла, что соответствует Спецификации МТМ-Г (равномерное движение магнитометра над осью трубопровода, стабильный крен/тангаж). Кроме того, навесное оборудование ТНПА (трассоискатель, сонары, видеокамеры) дает возможность работать как на открытых, так и заглубленных морских трубопроводах.

МТМ-Г ОБСЛЕДОВАНИЕ НА МЕЛКОВОДЬЕ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Зачастую трасса трубопровода пролегает через прибрежную зону с почти нулевой глубиной и выходом на берег (акватория Каспийского и Аравийского морей, Персидского залива). До недавнего времени обследовать данные участки (при условии отсутствия возможности провести ВТД) было невозможно, что сказывалось на их аварийности.

Для диагностики трубопроводов на мелководье при достаточной видимости носителем магнитометра «КОРД» может выступать водолаз (рис. 2). Наличие проводной подводной связи с судном/лодкой на поверхности воды обеспечивает дополнительный контроль за соблюдением требований Спецификации во время сканирования. А применение длиннобазисных гидроакустических систем подводного геопозиционирования (LBL) позволяет с высокой точностью определить географические координаты выявляемых аномалий и особенностей трубопровода. МТМ-Г обследование с помощью водолазов в акватории Персидского залива на объектах компании ADNOC (ОАЭ) и прибрежной зоне Суэцкого залива на объектах компании SOPC (Египет) доказало не



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 6



Рис. 7

РЕЗЮМЕ

Всего же с 2020 года с помощью МТМ-Г были обследованы более чем 1100км подводных и 300км сухопутных трубопроводов компаний Petronas (Малайзия), ONGC (Индия), Aramco (Саудовская Аравия), ADNOC (ОАЭ) и других.

Регулярная верификация данных МТМ-Г путем шурфования на наземных участках, сравнение с результатами предыдущих инспекций, в том числе в части определения уровня потери металла, сравнение результатов прогнозирования с классическими средствами контроля показывают высокую точность и эффективность результатов МТМ-Г обследований. Аудит технических отчетов проводится DNV, IRMS, а также другими международными экспертными организациями. Необходимо отметить, что в ряде проектов по результатам МТМ-Г проведены ремонтно-восстановительные работы трубопроводов, в том числе морских. Так, например, в результате обследования 24-дюймового нефтепровода компании SOPC (Египет) были выявлены 5 аномалий общей длиной 22 метра, в том числе 2 критических, охарактеризованные в отчете как «трещиноподобный дефект», «локальная и общая потеря металла», «изменение геометрии» и «общее НДС». В результате шурфования и верификации методами НК (рис. 6,7) были подтверждены опасные зоны концентрации напряжений, обусловленные продольными трещиноподобными дефектами с выходом на монтажное сварное соединение и дефектами потери металла на внутренней стенке трубы. При этом совокупность дефектов подтверждена на участке холодного изгиба, выходящего за рамки допустимого в условиях мелководья и отливных/приливных течений. Дефектный участок трубопровода был заменен новым.

Возможности метода, включающие локализацию действительно опасных участков, расчет уровня действующих механических напряжений и необходимых параметров безопасной эксплуатации, а также комбинированное применение подводных и сухопутных магнитометров, позволяют сформировать полное представление о работоспособности трубопровода. Опыт применения и непосредственного взаимодействия с операторами трубопроводов демонстрирует, что МТМ-Г существенно расширяет возможности оценки технического состояния трубопроводов не заменяя, а дополняя существующие подходы к оценке их целостности.

только саму возможность, но и практическую и техническую эффективность данного метода диагностики.

В 2021–2024 годах специалистами ООО «АКОРД-Технолоджи» было проведено МТМ-Г обследование более 250 км магистральных трубопроводов в акватории Аравийского моря на глубинах менее 20 м и в прибрежной зоне. В связи с отсутствием видимости и сильными течениями работа водолазов в данной зоне невозможна, а применение ТНПА ограничено требованиями безопасности для DP-2 судна. Для выполнения обследования в таких специфических условиях был разработан буксируемый подводный носитель, чья конструкция и масса в совокупности с системами подводного геопозиционирования и поиска трассы трубы позволили решить проблему технического диагностирования этих участков (рис.3).

Кроме того, расположенные в прибрежных, пойменных зонах, и пролегающие по дну мелководных рек трубопроводы могут быть обследованы магнитометром «КОРД» в стандартном сухопутном исполнении (рис. 4).

Таким образом, комбинирование магнитометров «КОРД» глубоководного, мелководного и стандартного сухопутного исполнения позволяет проводить сплошное обследование магистральных трубопроводов от места добычи на больших глубинах до НПЗ, перекрывая все зоны прокладки – глубоководную, мелководную, прибрежную и сухопутную, обеспечивая контроль трубопровода по всей длине без риска пропустить потенциально опасные напряженные участки (рис. 5).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ ПАО «ГАЗПРОМ»

Курилец Станислав Сергеевич - Главный технолог отдела ПАО «Газпром»

В портфеле компаний Группы Газпром порядка 32 лицензионных участков, расположенных на шельфе Российской Федерации.

Они расположены в суровых арктических и субарктических регионах, которые группируются в четыре основных региональных кластера:

- Баренцево-морский;
- Обско-Тазовский;
- Карско-морский;
- Дальневосточный.

Каждый регион обладает своими особенностями в частности:

- труднодоступность и сложности с логистикой, доставкой грузов;
- тяжелые ледовые условия, природно-климатические особенности;
- глубины, не всегда позволяющие применять распространенные технологии с задействованием водоизмещающего флота;
- и напротив существенные глубины, требующие применения более технически сложных решений, дистанционных технологий оперирования с подводным оборудованием, робототехнических систем.

Отмеченные особенности необходимо учитывать при формировании технических решений по обустройству месторождений, эксплуатации объектов добычи и обеспечению их безопасного функционирования в течение всего жизненного цикла. Каждый регион по совокупности условий уникален и требует индивидуального подхода планируемых к реализации проектов добычи углеводородов.

Говоря о возможных направлениях по обеспечению безопасной эксплуатации объектов подводной добычи, отмечу некоторые методы, которые уже реализуются в ПАО «Газпром», а также планируются к реализации.

Организационно, процесс обеспечения безопасности при эксплуатации объектов подводной добычи можно разделить на меры по предупреждению и предотвращению аварий или развития дефектов, а также на меры реагирования по устранению аварийных ситуаций.

К мерам по предупреждению и предотвращению аварий можно отнести:

- сбор информации о техническом состоянии подводных объектов добычи, в частности проводимые ежегодно подводные обследования объектов добычи Киринского ГКМ и запланированные работы по внутритрубному техническому диагностированию;
- разработка и внедрение технологий круглогодич-



Рисунок 2

ного мониторинга подводной обстановки;

- постоянный мониторинг надводной обстановки во взаимодействии с министерствами и ведомствами в области транспортной безопасности;
- физическая защита подводных объектов защитными сооружениями или покрытиями;
- обеспечение готовности эксплуатирующей организации к устранению возможных дефектов и аварий, как в части наличия необходимых ресурсов, так и в части надлежащей подготовки;
- регламентация порядка, периодичности и объема работ по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту в рамках комплекса нормативных и методических документов, разрабатываемых с учетом внедрения риск-ориентированного подхода.

К мерам реагирования, направленным на устранение возможных аварий и дефектных состояний, можно отнести:

- разработка технологий ремонта на больших глубинах;
- разработка оборудования и инструмента для ПТР;
- разработка механизмов реагирования на внешние угрозы, в том числе разработка мер силового характера.

На рисунке 2 представлен обзор по видам и периодичности подводно-технических работ, проводимых на объектах подводной добычи Киринского ГКМ, и планируемых работах по поддержанию целостности системы подводной добычи морских месторождений углеводородов как эксплуатируемых так и перспективных.

Наиболее технически сложным, дорогостоящим и содержащим существенные неопределенности видом работ являются восстановительные работы по устранению аварий. Вид работ критически зависит от наличия флота, технологий, оборудования и ресурсов.

В части совершенствования подходов к процессам диагностики, технического обслуживания и ремонта объектов подводной добычи разработан и проходит процедуру внедрения в производственную деятельность эксплуатирующей организации СТО Газпром «Методика организации обследования и технического обслуживания системы подводной добычи на основе анализа рисков».

Положения СТО Газпром применяются в процессах обследования и мониторинга технического состояния морских объектов обустройства Киринского ГКМ. Подходы, изложенные в нормативном документе, используются при формировании планов текущих ремонтов подводного оборудования.

Категорирование дефектов по степени опасности и их группировка существенно упрощают анализ результатов диагностики, снижают риски возникновения ошибок и расширяют возможности оперирования данными с применением человеко-машинного интерфейса.

Внутритрубная техническая диагностика является на текущий день безальтернативным методом получения достоверной информации о состоянии тела заглубленных трубопроводов.

Вместе с тем, стоимость внутритрубного технического диагностирования существенна ввиду наличия затрат по привлечению многофункциональных судов с телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) и специализированных внутритрубных приборов, разрабатываемых под трубопроводы особенного конструктивного исполнения.

Опыт проведения подобных работ с запуском и приемом диагностических устройств в подводном положении в Российской Федерации отсутствует, что накладывает определенные риски возникновения нештатных ситуаций, сопряженные с неопределенностями поведения как самих внутритрубных приборов в условиях отсутствия необходимой информации по состоянию

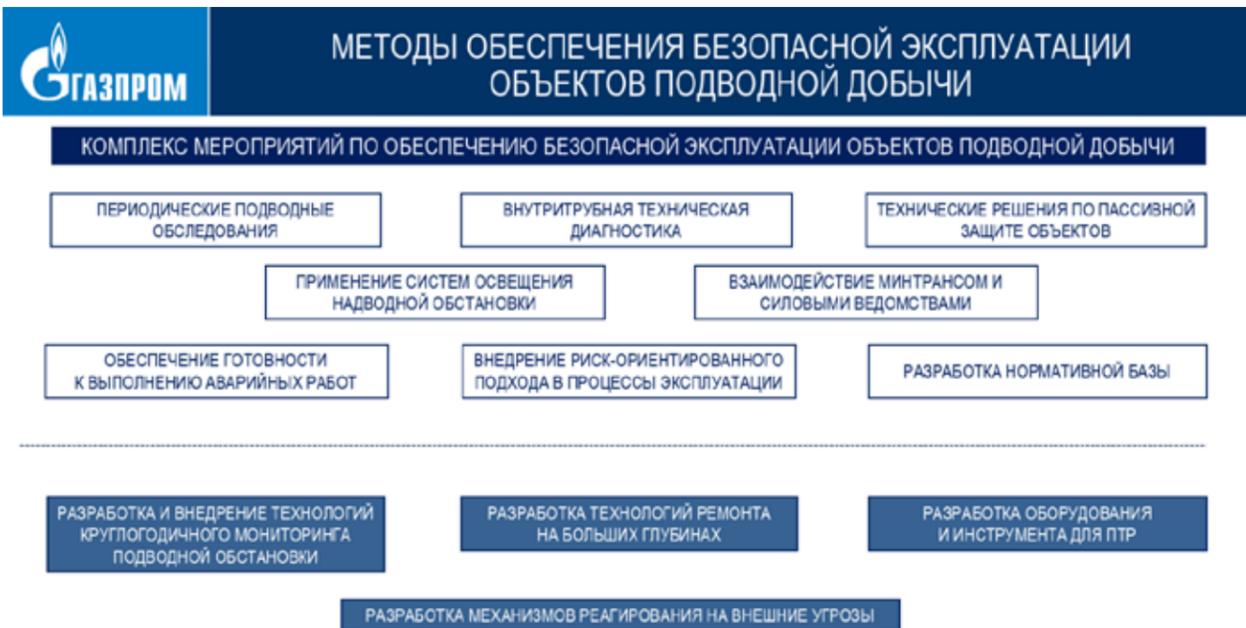


Рисунок 1



ЗАЩИТА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ (ПРОЕКТНЫЕ) РЕШЕНИЯ

Установка защитных конструкций на все площадные объекты (устьеное оборудование, манифольды, оконечные устройства трубопроводов, линейные тройники, трубопроводы подключения и др.)

Применение труб со сплошным обетонированием позволяет не только придать отрицательную плавучесть трубопроводу, но и обеспечить его защиту от внешнего воздействия

Заглубление трубопроводов в грунт, засыпка щебнем монтаж габионных конструкций позволяет не только стабилизировать трубопровод, но и обеспечить его защиту от внешнего воздействия

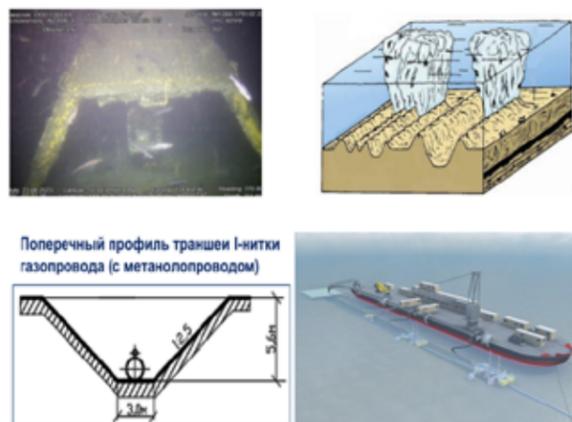


Рисунок 3

внутренней полости трубопроводов, так и с вопросами технологий устранения возможного блокирования таких приборов в трубопроводе.

В районе Киринского ГКМ проходят маршруты транспортных, рыболовецких, пассажирских и других типов судов. В навигационный период район Киринского ГКМ могут проходить более 400 рыболовецких судов.

Для обеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации объектов подводной добычи Киринского ГКМ при разработке проектной документации на обустройство месторождения, разрабатываются технические (конструктивные) решения по пассивной защите объектов, в частности:

- монтаж защитных конструкций на все площадные объекты (устьеное оборудование, манифольды, оконечные устройства трубопроводов, линейные тройники, трубопроводы подключения и др.)
- применение труб со сплошным обетонированием, позволяющим не только придать отрицательную плавучесть трубопроводу, но и обеспечить его защиту от внешнего воздействия;
- заглубление трубопроводов в грунт или их засыпка щебнем либо монтаж габионных конструкций. Такие решения позволяют не только стабилизировать трубопровод, но и также обеспечить его защиту от внешнего воздействия.

Физическая защита на данный момент является доступным решением с целью исключения риска повреждения объектов подводного добычного комплекса (ПДК) от падающих предметов и траловых нагрузок.

Кроме конструктивных технических решений на Киринском ГКМ в онлайн режиме проводится мониторинг надводной обстановки с применением Системы освещения надводной обстановки, которая позволяет идентифицировать плавсредства, отслеживать курс и скорость судов, маршруты их движения и выполняемые маневры.

Мониторинг с использованием СОНО позволяет про-

вести анализ источников потенциальной опасности для объектов и своевременно предпринять упреждающие меры организационного характера во взаимодействии с Береговой охраной и иными подразделениями Пограничной службы ФСБ России и правоохранительными органами.

Реализуются следующие мероприятия по минимизации рисков повреждения оборудования ПДК Киринского ГКМ:

- установление охранных зон и зон безопасности морских трубопроводов/шлангокабелей и объектов ПДК и обеспечение взаимодействия с Минтрансом России и гидрографической службой ВМФ с целью установление районов, закрытых для плавания изданием приказов Минтранса России с объявлением предупреждения мореплавателям и указанием координат охранных зон.

Вместе с тем, стоит отметить, что данные меры не являются исчерпывающими, поскольку отмечаются прецеденты игнорирования некоторыми судоводителями Извещений мореплавателям с осуществлением промысла морепродуктов в охранных зонах.

В настоящее время отсутствуют правовые механизмы запрета на заход, стоянку и передвижение судов в 500-метровой зоне в установленных районах, а также необходимые меры обеспечения таких запретов.

Таким образом, охранные зоны не являются зонами безопасности в рамках законодательства о транспортной безопасности.

С целью митигации рисков нехватки на рынке средств подводной робототехники, находящихся под запретом поставки в Российскую Федерацию, ПАО «Газпром» проводится планомерная работа по замещению иностранной критически необходимой техники, оборудования и инструмента российскими разработками.

Так, кооперацией, возглавляемой НИЦ «Курчатовский институт», для нужд ПАО «Газпром» ведется разработ-

ка комплекса отечественного ТНПА тяжелого рабочего класса с необходимым навесным инструментом.

Разработан технический проект комплекса, ведется работа по разработке рабочей конструкторской документации. Создаваемый ТНПА по своим проектным техническим параметрам и функционалу не уступает ведущим западным аналогам.

При разработке комплекса учтены наилучшие мировые практики, особенности применения будущего робота, выполнена адаптация технических и конструктивных решений возможностям предприятий отечественной промышленности, участвующих в разработке комплекса.

Таковыми комплексами предполагается оснащать буровой и технологический флот ПАО «Газпром».

Стоит отметить, что потребность в средствах подводной робототехники имеет тенденцию роста. И ПАО «Газпром» не одиноко в постановке задачи по замещению ТНПА иностранных разработок.

В связи с чем, компании, в основном поставщики сервисных услуг, выполняют разработку отечественных ТНПА различного типа для собственных нужд.

На рисунке отмечена проводимая работа Русской морской команды по созданию целого ряда ТНПА от осмотрового до рабочего класса. Также представлен пример успешного внедрения отечественных ТНПА собственного производства компании МГ-Сервис. Роботы компании успешно эксплуатируются ФГБУ «Морспасслужба» на протяжении ряда лет. Аппараты МГ-сервис хорошо зарекомендовали себя при выполнении работ на объектах ПАО «Газпром», в частности Штокмановском ГКМ.

Говоря о необходимости замещения западных технологий и развития собственных компетенций нельзя не сказать о вкладе отечественных компаний в разработку и внедрение автономных обитаемых подводных аппа-

ратов (АНПА).

Ведущими предприятиями (ИПМТ ДВО РАН, НПО Аврора, ЦКБ Рубин и другие) разработаны и внедрены в деятельность преимущественно силовых ведомств отечественные автономные необитаемые подводные аппараты. Данный вид техники двойного назначения широко применяется для выполнения специальных задач и изначально был предназначен для выполнения скрытой доставки полезной нагрузки на большие расстояния и выполнения мониторинговых миссий.

Способность автономной работы, без привязки к носителю, востребована и в ПАО «Газпром» при решении задач диагностического обследования протяженных подводных объектов. Успешное применение в 2023 году АНПА «ММТ-3500» (ИПМТ ДВО РАН) при выполнении внешней инспекции газопровода «Голубой поток» прямое тому подтверждение.

Данный вид техники является ядром и основным рабочим органом в перспективной технологии круглогодичного мониторинга состояния подводных объектов добычи.

В текущей деятельности ПАО «Газпром» широко не применяет данный вид техники, однако мы внимательно изучаем возможности применения АНПА на объектах подводной добычи и транспортировки газа.

Проекты газодобычи ПАО «Газпром» на дальневосточном шельфе, находящиеся в стадии реализации, предполагают размещение на морском дне широкой номенклатуры подводных объектов, требующих мониторинга их технического состояния и анализа условий их безопасной эксплуатации. При этом из года в год количество объектов растет в связи с активной фазой освоения месторождений проекта «Сахалин-3».

Тяжелая ледовая обстановка и связанные с ней условия ограниченного доступа к оборудованию вне навигационного периода, подтолкнули ПАО «Газпром» к поис-



Рисунок 4

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ОТРАСЛИ ПО СОЗДАНИЮ И ВНЕДРЕНИЮ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПТР

РУССКАЯ МОРСКАЯ КОМАНДА
Телеуправляемые обитаемые подводные аппараты

ОКЕАН ТНПА-МАКС
Электродвигательный аппарат тяжелого рабочего класса
• Масса: 4000 кг
• Рабочая глубина: до 3000 м
• Полезная нагрузка: 250 кг
• 8 камер высокого давления
• Маневратор: 7 степеней
• Маневратор: 8 степеней
• 4 х 6 метров пера
• Крюк для прицепного оборудования (средней массой до 3000 кг)

ОКЕАН ТНПА-ПАЙТ
Электродвигательный аппарат легкого класса
• Масса: 100 кг
• Рабочая глубина: до 400 м
• Полезная нагрузка: 20 кг
• 2 камеры высокого давления
• Маневратор: 6 степеней
• Скорость: 1 м/мин
• 6 метров пера

ОКЕАН ТНПА-МИНИ
Электродвигательный аппарат класса 5-й класс Lightweight
• Масса: до 15 кг
• Рабочая глубина: до 200 м
• Рабочая глубина: до 100 м / до 200 м
• Скорость: 1 м/мин
• 6 метров пера

НОНИУС ИНЖИНИРИНГ
Разработка единого открытого программного обеспечения для нужд подводной робототехники NSCore

ФГБУ «Морспасслужба»:
— на протяжении 3-х лет успешно эксплуатирует отечественные ТНПА МСС-3000 производства компании МГ-Сервис;
— эксплуатирует отечественное гидрографическое и гидрологическое оборудование

Рисунок 5

ку решений по организации круглогодичного доступа к подводным объектам добычи.

Одним из таких решений, возможных к реализации, является создание и размещение на месторождении подводного роботизированного комплекса резидентного базирования на базе автономного обитаемого подводного аппарата и развитой системой подводной навигации и связи.

В настоящее время ПАО «Газпром» проводится оценка реализуемости проекта, его эффективности и целесообразности. Организовано взаимодействие с ведущими отраслевыми предприятиями-разработчиками автономной робототехники.

В навигационном сезоне текущего года запланирована натурная апробация технологии применения АНПА на Киринском ГКМ, результаты которой будут использованы на дальнейших стадиях реализации проекта.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОТОВНОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ АВАРИЙНЫХ РАБОТ

РЕСУРСЫ
ПОДВОДНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ
БАЗА ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ
НОРМАТИВНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ФЛОТ

Рисунок 7

Одним из ключевых элементов комплекса мер по обеспечению безопасной эксплуатации подводных объектов добычи является наличие технологий ремонта различных видов дефектов во всем диапазоне глубин расположения таких объектов.

С уходом с российского рынка западных сервисных компаний, способных предоставить сервисные услуги по выполнению в том числе глубоководного ремонта, перед отраслью поставлена нетривиальная задача заместить технологии ремонта, разработать методическую базу, создать оборудование и инструмент, подготовить персонал.

ПАО «Газпром», совместно с профильными предприятиями проводят планомерную работу по данному направлению:

- планируется открытие НИОКР по разработке системы глубоководного ремонта трубопроводов;
- планируется разработка и внедрение технологии глубоководного ремонта морских подводных трубопроводов (МПТ) усиливающей комбинированной системой с использованием роботизированного комплекса на основе телеуправляемого обитаемого подводного аппарата (ТНПА) рабочего класса;
- в организационном плане проводится работа в области нормативного обеспечения деятельности, в частности эксплуатирующей организацией ведется разработка Регламента ремонта внутрипромысловых трубопроводов подводного добычного комплекса Киринского ГКМ, а также на финальной стадии находится разработка ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проекта ГОСТ Р «Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Ремонт подводных трубопроводов в арктической зоне».

Наличие комплекса технико-технологических решений, методического обеспечения имеет критическую важность при организации готовности предприятий ПАО «Газпром» к ликвидации аварий и инцидентов на промысле.

Продолжая тему замещения западных технологий ремонта, необходимо обратить внимание на комплексность системы обеспечения готовности предприятий ПАО «Газпром» по реагированию в случае возникновения аварий и инцидентов.

Система помимо отмеченных ранее мероприятий, не обходится без ряда сопутствующих, но не имеющих альтернативы составляющих:

- специализированный флот;
- инструмент ТНПА для выполнения ПТР по подготовке объекта к ремонту;
- база обеспечения морских операций;
- ресурсы, как финансовые, так и материально-технические, временные, а также персонал.

Задачу по реализации системы обеспечения готовности предприятий ПАО «Газпром» к реагированию в случае возникновения аварий и инцидентов необходимо решать комплексно, но при этом поэтапно.

Так до создания отечественного специализированного инструмента в текущей ситуации предприятия ПАО «Газпром» уже обеспечиваются необходимым комплектом инструмента для выполнения ПТР по подготовке объекта ремонта и выполнения аварийных работ.

Резюмируя, хотелось бы отметить, что обеспечение безопасной эксплуатации объектов подводной добычи, равно как и морских подводных газопроводов, задача комплексная и нелинейная, требующая участия в процессе не только компаний ТЭК, эксплуатирующих такие объекты, но и смежных министерств и ведомств, а также предприятий промышленности, сервисных компаний.

Одним из важных, и на сегодняшний день не решенных вопросов, является механизм реагирования на возможные угрозы на подводные объекты ТЭК со стороны третьих лиц.

РЕМОНТ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Разработка подходов к организации и методам выполнения ремонтных работ на подводных трубопроводах морских месторождений

Обеспечение эксплуатационной готовности газосборной сети объектов подводного обустройства морских месторождений

Технико-технологическая готовность и реагирование при необходимости выполнения ремонтных работ на подводных трубопроводах

- ✓ Выполнен НИР «Технико-экономическое исследование организации и методов выполнения ремонтных работ на подводных трубопроводах морских месторождений ПАО «Газпром» в Охотском море»
- ✓ В разработке проект ГОСТ Р Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Ремонт подводных трубопроводов в арктической зоне
- ✓ Планируется НИР по разработке аванпроекта (технического предложения) на создание системы аварийного ремонта подводных трубопроводов
- ✓ В разработке проект РЕГЛАМЕНТА ремонта внутрипромысловых трубопроводов подводного добычного комплекса Киринского ГКМ

ООО «НТЦ «НЕФТЕГАЗДИАГНОСТИКА»

Рисунок 6

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ МОРСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Аннотация: В статье рассматривается модель информационного взаимодействия функциональных частей морского геофизического комплекса сейсморазведки. Представлены основные функциональные узлы комплекса, программное обеспечение, а также приводится описание функциональных возможностей.

Ключевые слова: сейсмокоса, морской геофизический комплекс, рабочая станция приема информации, рабочая станция управления.

Авторы: Д.Н. Демьянук¹, Д.С. Ермошкин¹, Г.Е. Майоров², К.Г. Мартынов¹, Н.И. Щекотихин¹, 2025.

¹АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, Россия

²АО «РКЦ «Прогресс» - филиал ОКБ «Спектр», Рязань, Россия

В связи с введением санкций возникли проблемы в изучении шельфовых зон, в том числе и Арктических, где сейсмическая разведка является базовым методом исследования морских геологических структур шельфа для поиска и мониторинга полезных ископаемых [1]. В обеспечение выполнения Российской программы импортозамещения в настоящее время проводится проектирование отечественного морского геофизического комплекса с геленаполненной буксируемой сейсмокозой и источниками упругих колебаний (МГК), разработка технологии, изготовление его составных частей и проведение натурных испытаний опытно-промышленного образца.

АО «Концерн «Океанприбор» выступил инициатором проведения опытно-конструкторской работы «Создание отечественного морского геофизического комплекса с буксируемой геленаполненной сейсмокозой и источниками упругих колебаний» с учетом мирового опыта и опыта отечественных компаний [2].

При проектировании морского геофизического ком-

плекса необходимо решить научно-техническую задачу по разработке модели информационного взаимодействия функциональных частей комплекса.

Морской геофизический комплекс сейсморазведки состоит из бортового и забортного оборудования.

Основные функциональные части бортового оборудования включают:

- аппаратно-программный комплекс визуализации и контроля качества сейсмических данных (АПК ВКК СД);
- комплекс средств управления и регистрации акустической информации (комплекс СУРА).

К основным функциональным частям забортного оборудования относятся:

- секция приборная;
- контроллер секции (модуль КС);
- источник упругих колебаний (ИУК).

Комплекс СУРА в составе морского геофизического

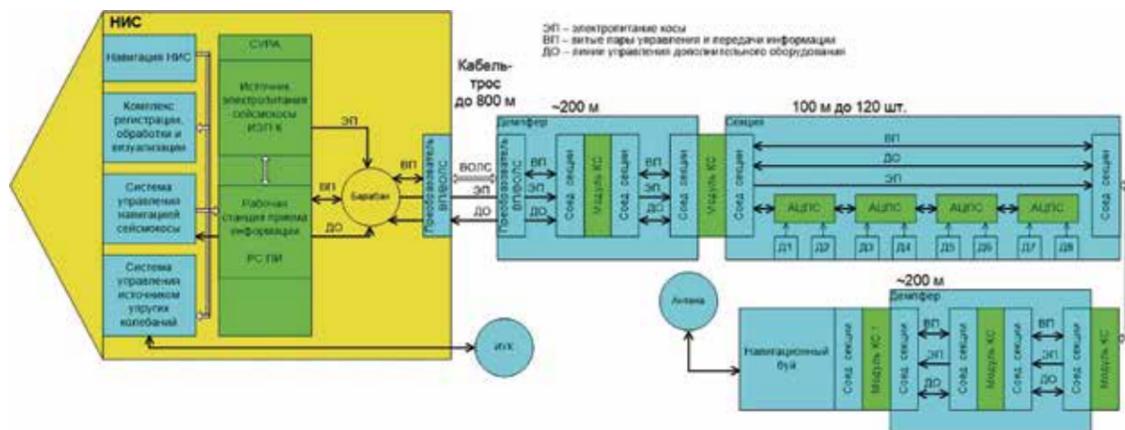


Рис. 1. Основные функциональные узлы МГК.

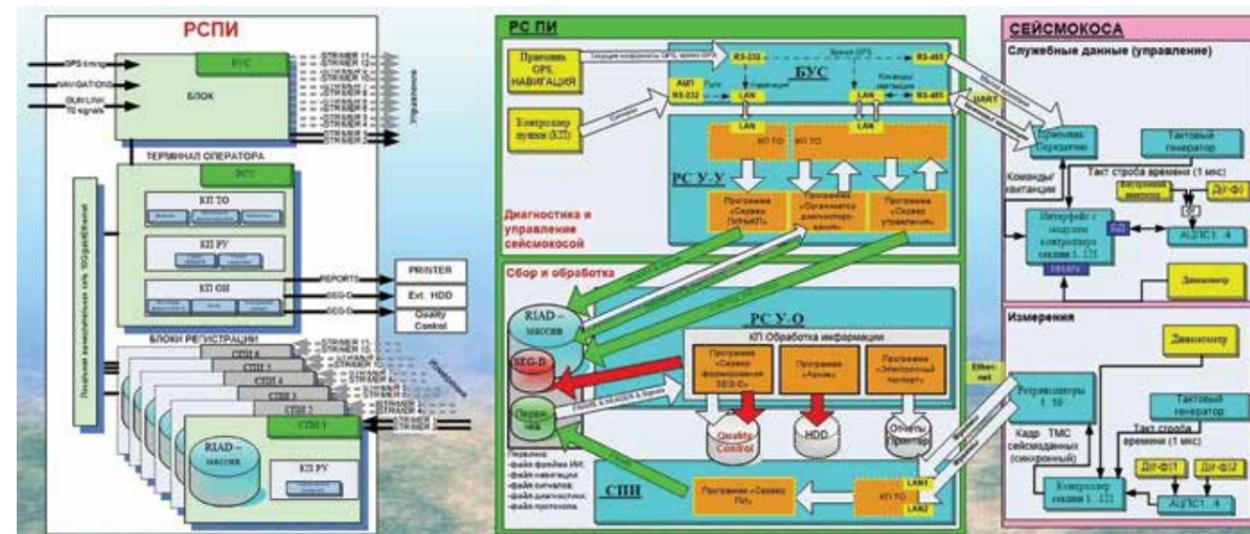


Рис. 2. Модель информационного взаимодействия функциональных частей МГК.

комплекса выполняет следующие функции [3]:

- формирование электропитания сейсмокоз;
- информационное управление сейсмокозами;
- прием и регистрацию сейсмоакустической информации от сейсмокоз;
- информационное взаимодействие с судовой навигационной аппаратурой и аппаратурой обработки сейсмоакустической информации.

Комплекс СУРА представляет собой комплекс программно-технических средств, предназначенных для стационарного размещения на научно-исследовательском судне.

Комплекс СУРА включает в себя:

- источник электропитания косы (ИЭП К);
- рабочую станцию приема информации (РС ПИ);
- комплект монтажных частей, включающий в себя коробки С167, кабели, ответные части разъемов, обеспечивающих внешние подключения, материалы, используемые при монтаже комплекса, комплект ЗИП;
- комплект общего программного обеспечения (ОПО);
- программное изделие (специальное программное обеспечение) СПО «Сбор-СИ».

АПК ВКК СД предназначен для визуализации и контроля качества сейсмоакустической информации для сейсмических исследований на акватории мирового океана.

Секция приборная предназначена для приема сейсмоакустических сигналов, преобразования их в электрические и передачи в цифровом виде на центральную станцию регистрации (комплекс СУРА).

Модуль КС предназначен для сбора данных, поступающих от модулей аналого-цифрового преобразования сигналов (АЦПС), передачи и ретрансляции телеметрической информации на борт судна, а также ретрансляции команд управления и синхронизации. Он необходим

для информационного сопряжения с модулями АЦПС и комплексом СУРА.

Источник упругих колебаний (ИУК) предназначен для установки в составе МГК с геленаполненной буксируемой сейсмокозой на геофизических судах для обеспечения задач сейсморазведки при исследовании геологического строения на различных акваториях при решении геологических, инженерных и геофизических задач.

Основные функциональные узлы МГК представлены на рис. 1.

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ МГК

Модель информационного взаимодействия функциональных частей МГК показана на рис. 2.

Схема МГК приведена на рис. 3.

Работа комплекса СУРА осуществляется под управлением специального программного обеспечения СПО «Сбор-СИ», установленного и функционирующего на двух промышленных серверах РС ПИ в функциональных узлах СПИ и РС У [4]. Состав СПО показан на рис. 4.

При взаимодействии с функциональными частями МГК комплекс СУРА обеспечивает выполнение следующих задач:

1. осуществление операций автоматического формирования формата SEG-D на основе массива первичной информации зарегистрированной на RAID-массивах;
2. архивацию и длительное хранение принятой первичной сейсмоакустической информации и информации, преобразованной в формат SEG-D на оборудовании массивов данных, организацию поиска требуемой информации в архиве, выборку информации из архива;
3. сбор и отображение характеристик компонентов стримера.

В рамках задачи 1 комплекс обеспечивает выполне-

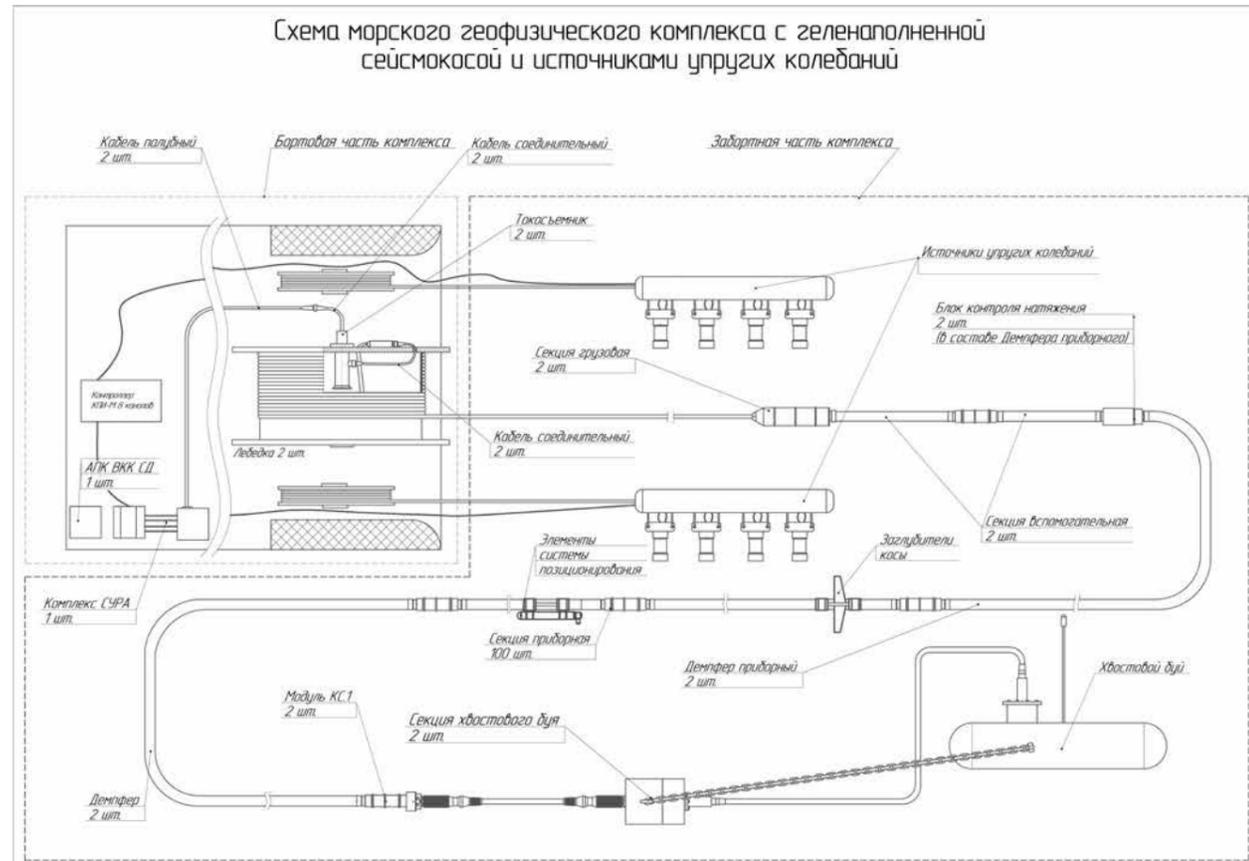


Рис. 3 Схема морского геофизического комплекса

ние следующих функций:

- а) чтение новых файлов первичной информации с RAID-массива;
- б) определение момента времени начала и окончания последней «Трассы» по потоку зарегистрированной сигнальной информации (SIGNALS);
- в) поиск в массиве измерительных данных с гидрофонов (FRAME) момента времени начала трассы и завершения;
- г) демультимплексирование измерительных данных с гидрофонов (FRAME) и формирование «Трассы» формата SEG-D в ОЗУ;
- д) поиск в зарегистрированном потоке для текущей «Трассы» информации с навигации (NMEA) и запись ее в соответствующие поля формата SEG-D в ОЗУ;
- е) отображение текущих сейсмограмм из ОЗУ выбранных каналов;
- ж) запись «Трассы» на RAID-массив из ОЗУ и передача сейсмоакустической информации по протоколу TCP;
- з) создание описания блока заголовка файлов SEG-D для формирования заголовков в диалоговом режиме.

В рамках задачи 2 комплекс обеспечивает выполнение следующих функций:

- а) учет и каталогизация зарегистрированной первичной информации на накопителе первичной информации;
- б) запись данных в формате SEG-D на накопитель це-

левой информации по факту их поступления с сервера регистрации;

в) запись данных, помещенных в архив целевой информации, на внешний накопитель.

В рамках задачи 3 комплекс обеспечивает выполнение следующих функций:

- а) формирование электронного паспорта на предприятии изготовителе (доступно только для пользователей предприятия);
- б) отображение данных электронного паспорта, сформированного предприятием изготовителем (уникальные идентификаторы датчиков, последовательность подключения в секции, номер секции, результаты тестов);
- в) отображение и запись информации об эксплуатации компонентов сейсмокосы (дата начала использования, уровень выходного сигнала, информация об отказах, ремонтах, и т.д.);
- г) отображение и запись информации о текущем состоянии и конфигурации датчиков косы (уникальный идентификатор датчика и его порядковое место в секции, секции в косе), признак работоспособности по результатам последней тестовой проверки (какие тесты прошел успешно, какие нет);
- д) отображение схематичной визуализации состояния косы с отображением текущего состояния (готов/не готов, порядковый номер в косе, уникальный идентификатор и т.д.).

В режиме «Подготовка к работе» осуществляется проверка работоспособности аппаратно-программных средств комплекса СУРА совместно с сейсмокосами. Также производится проверка функционирования установленного программного обеспечения.

В режиме «Работа» комплекс СУРА обеспечивает выполнение основных функций: электропитание сейсмокосы, прием и регистрацию первичной информации от сейсмокосы, ее преобразование и выдачу внешним абонентам.

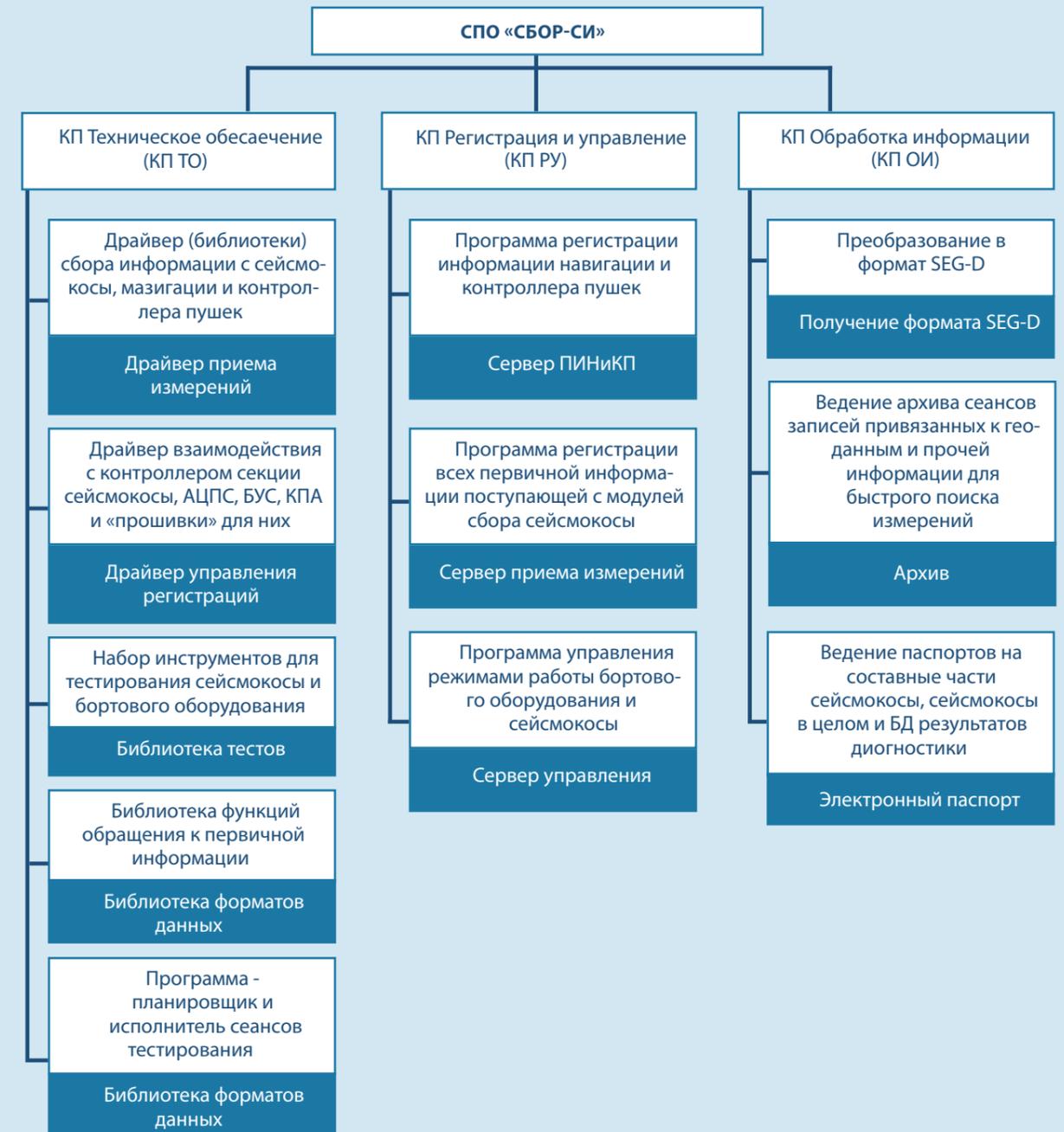


Рис. 4 Состав специального программного обеспечения.

Функциональные возможности и технические характеристики	Seal428 (Франция)	СУРА (Россия)
Формирование электропитания сейсмокос	+	+
Информационное управление сейсмокосами	+	+
Прием и регистрация сейсмоакустической информации	+	+
Информационное взаимодействие с судовой навигационной аппаратурой	+	+
Контроль качества SEG-D в реальном времени	+	+
Прием сейсмоакустической информации от 2-х стримеров по интерфейсу Ethernet со скоростью 1 Гбит/с	+	+
Формирование электронного паспорта	+	+
Мгновенный динамический диапазон, дБ	124дБ	не менее 116 дБ при 0дБ усиления
Динамический диапазон, дБ	136дБ	не менее 125дБ
Чувствительность группы гидрофонов	19,7 В/бар при 20°C	12,5 В/бар при 20°C
Групп на секцию	24	8
Расстояние между группами приемников, м	6,25	3,125/12,5

Таблица 1. Сравнительный анализ функциональных возможностей комплекса с комплексом Seal428

В режиме «Воспроизведение» комплекс СУРА обеспечивает воспроизведение зарегистрированной первичной информации, ее преобразование и выдачу внешним абонентам.

Принимаемая от сейсмокос первичная информация поступает в СПИ, где происходит ее регистрация и передача в РСУ. В РСУ осуществляется преобразование зарегистрированной первичной информации в формат SEG-D, её регистрация и передача внешним абонентам. Кроме того, РСУ осуществляет общую системную синхронизацию.

Программно-аппаратные средства комплекса СУРА допускают подключение к комплексу до 12 сейсмокос одновременно. Каждые 2 сейсмокосы требуют введения в их состав одного дополнительного устройства ИЭП К и одного СПИ. Для подключения более 6 сейсмокос требуется ввести в состав блока БУС дополнительную ячейку 1Д083 из состава ЗИП (комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей).

Комплекс СУРА является первым отечественным образцом, предназначенным для управления и регистрации акустической информации.

При функциональном взаимодействии с комплексом СУРА АПК ВКК СД выполняет следующие функции:

а) визуальный контроль регистрируемых сейсмограмм на компьютерных мониторах рабочего места комплекса с задержками не более периода 1-го выстрела при количестве каналов не менее 2000 и дискретизации не менее 2 мс;

б) автоматическое формирование рапорта оператора по контролю качества, с возможностью их печати и сохранения в файл.

АПК ВКК СД осуществляет следующие виды контроля качества сейсмической информации:

а) визуализацию трасс и сейсмограмм (сейсмические или служебные каналы);

б) частотную фильтрацию и определение скорости отраженных волн;

в) коррекцию амплитуд за геометрическое расхождение волн и их поглощение;

г) визуализацию одноканальных выборок (сейсмические или служебные каналы) и спектральный анализ

сейсмических трасс и сейсмограмм;

д) анализ уровня шума трасс на каждом пункте взрыва, анализ уровня полезного сигнала трасс на каждом пункте взрыва, анализ отношения сигнал/шум на каждом пункте взрыва, анализ средних значений уровня шума трасс на профиле;

е) анализ средних значений уровня полезного сигнала трасс на профиле, анализ средних значений отношения сигнал/шум на профиле, анализ изменения среднего значения шума трасс на профиле, анализ изменения среднего уровня полезного сигнала трасс на профиле;

ж) анализ изменения среднего значения отношения сигнал/шум на профиле, анализ количества трасс, вышедших за пределы спецификации;

з) развёрнутый анализ отношения сигнал/шум на профиле(карта сигнал/шум), развёрнутый анализ уровня полезного сигнала трасс на профиле (карта сигнала), развернутый анализ уровня шума трасс на профиле (карта шумов), развернутый анализ максимального уровня сигнала трасс на профиле (карта максимального сигнала).

Приборная секция при взаимодействии с составными частями МГК обеспечивает:

а) прием сейсмоакустических сигналов;

б) усиление и фильтрацию аналоговых сигналов;

в) преобразование аналоговой информации в цифровую форму;

г) передачу цифровой информации в комплекс СУРА;

д) тестовый контроль каналов для определения амплитудной и фазовой идентичности каналов, уровня собственных шумов, приведенных к входу, динамического и частотного диапазонов, величины взаимных влияний между каналами, нелинейных искажений и т.п.;

е) контроль работоспособности группы сейсмоприемников и величины шумов окружающей среды.

ИУК при информационном взаимодействии с функциональными частями МГК обеспечивает его функционирование при управлении контроллерами отечественного или иностранного производства. ИУК обеспечивает амплитуды волны давления, формирование упругих колебаний с частотами в зависимости от объема пневмокамер.

При информационном взаимодействии с составными частями МГК модуль КС обеспечивает:

а) интерфейс взаимодействия с модулями АЦПС;

б) формирование программируемых интервалов времени, определяющих задержку запуска и продолжительность преобразования информации относительно отметки момента срабатывания ИУК, а также работу в режиме постоянного сбора информации;

в) информационное и командное взаимодействие с РС ПИ через ретрансляционное оборудование грузовой секции МГК;

г) информационное взаимодействие с РС ПИ по дублированному интерфейсу со скоростью 1 Гбит/с;

д) прием назначения сетевого адреса при инициализации от РС ПИ;

е) ретрансляцию информационного и командного взаимодействия модулей КС соседних секций сейсмокосы с РС ПИ;

ж) пассивную ретрансляцию для позиционирования

сейсмокосы и электропитания последующих участков;

з) контроль первичного напряжения электропитания секции;

и) формирование внутренней шины электропитания от источника внешнего напряжения постоянного тока;

к) электропитание подключаемых модулей АЦПС.

В табл. 1 приведен сравнительный анализ функциональных возможностей и технических характеристик отечественного комплекса СУРА с аналогичным комплексом Seal428 французского производства. Из сравнительного анализа видно, что отечественный комплекс СУРА соответствует современному уровню оборудования данного вида иностранного производства.

ВЫВОДЫ:

1. Разработаны и изготовлены основные функциональные части морского геофизического комплекса с геленаполненной буксируемой сейсмокосой.
2. Разработана модель информационного взаимодействия функциональных частей МГК.
3. Проведены предварительные испытания и получены положительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений», Постановление правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 304.
2. Государственный контракт №19411.1810190019.09.007 на выполнение ОКР «Разработка промышленной технологии и изготовление первого серийного образца морского геофизического комплекса с геленаполненной буксируемой сейсмокосой и источниками упругих колебаний» Шифр «Геленаполненная коса-ресурс», Минпромторг России, 2019.
3. Техническое задание №1392.3.4371 на выполнение СЧ ОКР «Разработка и изготовление комплекса технических средств сбора и регистрации информации морского геофизического комплекса и контрольной проверочной аппаратуры» Шифр «Геленаполненная коса-ресурс-Спектр», АО «Концерн «Океанприбор», 2020.
4. Комплекс СУРА КТМЯ.461271.219. Технические условия, АО «РКЦ «Прогресс» - ОКБ «Спектр», 2021.

Демьянюк Дмитрий Николаевич, зам. начальника НПО АО «Концерн «Океанприбор». Конт. тел.: (812) 499-74-35 (доб.3868).

Ермошкин Дмитрий Семенович, начальник НПО АО «Концерн «Океанприбор». Конт. тел.: (812) 499-74-35 (доб.3826).

Майоров Геннадий Евгеньевич, ведущий инженер-конструктор АО «РКЦ «Прогресс» - филиал ОКБ «Спектр». Конт. тел.:(4912) 7686-79(доб.2-11). E-mail: mge_mge@mail.ru.

Мартынов Кирилл Геннадьевич, начальник сектора АО «Концерн «Океанприбор». Конт. тел.: (812) 499-74-00(доб.4080).

Щекотихин Николай Иванович, к.т.н., с.н.с., ведущий инженер АО «Концерн «Океанприбор». Конт. тел.: (812) 499-74-00 (доб.4104).

ГЕРОЙ РОССИИ ЮРИЙ НИМЧЕНКО:

**«Сплоченность — это не только слова,
это конкретные действия
каждого из нас»**



Старший сержант Юрий Нимченко служил в 126-й отдельной гвардейской бригаде береговой обороны 22-го армейского корпуса береговых войск Черноморского флота. С 2022 года выполнял боевые задачи в ходе специальной военной операции ВС РФ на Украине. Звание Героя России удостоен за героическое удержание переправы в районе дамбы Северо-Крымского канала в феврале 2022 года. Тогда экипаж танка под его командованием отбил несколько атак превосходящего по силам противника, в одиночку уничтожив девять украинских танков и три БТР. Нимченко стал одним из первых военнослужащих, удостоенных самой высокой награды страны в ходе СВО. В 2024 году являлся доверенным лицом кандидата в президенты России Владимира Путина. Сегодня сенатор Юрий Петрович Нимченко представляет в Совете Федераций Республику Крым.

Юрий Петрович, Вы стали символом мужества и героизма во время специальной военной операции. Какие чувства вы испытываете, когда вспоминаете о тех событиях, и как они изменили Ваше восприятие жизни?

Когда я вспоминаю о тех днях, я испытываю смешанные чувства. С одной стороны, это гордость за то, что мне и моему подразделению удалось выполнить поставленные задачи и защитить наши позиции. С другой стороны, это осознание того, насколько сложными и опасными были те моменты. В условиях боя человек проявляет все свои качества — как хорошие, так и плохие. Я понял, что в критической ситуации можно найти в себе силы, о которых раньше даже не догадывался. Эти события изменили меня как человека и укрепили веру в важность воинского братства.



Вы упомянули о воинском братстве как о крепкой связи между солдатами. Как Вы считаете, какую роль оно играет в патриотическом воспитании молодежи сегодня?

Воинское братство — это одна из самых сильных связей, которая может продолжаться десятилетиями. Оно формирует ценности взаимопомощи, поддержки и ответственности за своих товарищей. Воспитание молодежи на примерах таких отношений очень важно. Мы должны передавать молодому поколению понимание чести и долга перед Родиной. Это поможет им не только в службе, но и в гражданской жизни.

Как Вы оцениваете текущую ситуацию на фронте и взаимодействие общества с военнослужащими?



Сейчас нам противостоит весь коллективный Запад. Их действия жестоки и циничны по всем фронтам — военному, экономическому и информационному. Однако я вижу огромную поддержку со стороны нашего общества: волонтеры активно помогают нашим ребятам на передовой, отправляя всё необходимое. Это единство людей — залог нашей силы в противостоянии вызовам времени.

Вы упомянули о необходимости моральной сплоченности общества. Какие шаги Вы планируете предпринять как сенатор для укрепления этой сплоченности?

Одним из ключевых направлений моей работы является развитие патриотического воспитания среди молодежи. Мы должны организовывать мероприятия, которые будут способствовать формированию уважения к истории нашей страны и её защитникам. Также важно поддерживать инициативы по помощи военнослужащим и их семьям. Сплоченность — это не только слова, это конкретные действия каждого из нас.



Вы рассказали сейчас о патриотическом воспитании молодежи, а как Вы думаете, следует ли нам в стране возродить идеологию, которая была как в дореволюционной России?

Ключевым аспектом является баланс между формированием любви к Родине и культурному разнообразию, чтобы уважение к родной стране сочеталось с уважением к другим народам и культурам. Идеологическое воспитание должно стать инструментом, способствующим развитию активной и ответственной гражданской позиции, а также укреплению национального единства и гармонии в обществе.



Юрий Петрович, Вы уже посещали заседание межведомственного совета по безопасности подводных трубопроводов и объектов, как Вы думаете, насколько остро сейчас в стране стоит вопрос безопасности этих объектов?

Мы видим, что сейчас происходит в мире, никто из нас и не предполагал, что на таких стратегических объектах может произойти теракт, как это произошло на нитях Северного потока. Поэтому, конечно, это серьезные и острые вопросы, которые нужно решать.

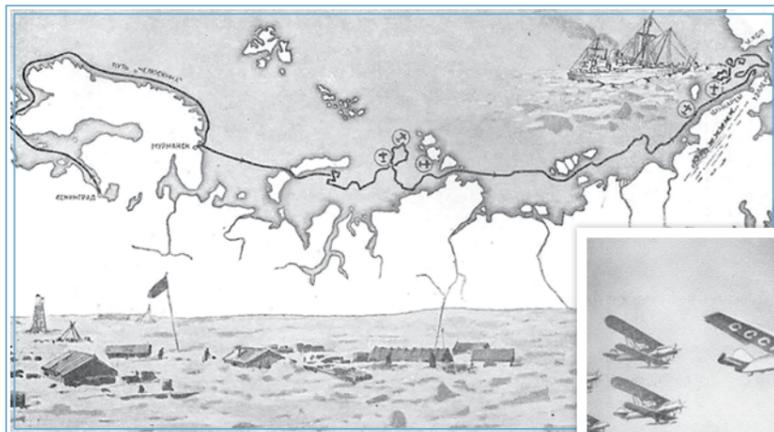
Защита таких объектов, а также научно-технологическое развитие страны, позволяющее получить значимые научные и научно-технические ре-



зультаты при создании отечественных наукоемких технологий, которые помогут нам не только в обеспечении безопасности этих объектов, но и создавать прорывные технологии для обеспечения нашего технологического суверенитета.

По-моему мнению, то, что создан такой межведомственный совет — это первый и большой шаг к реализации нашей безопасности и суверенитета.

ПОЛЯРНЫЕ ЛЕТЧИКИ – ПЕРВЫЕ ГЕРОИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА



В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ
НА ЛЬДУ ОКАЗАЛОСЬ
104 ЧЕЛОВЕКА



ЛАГЕРЬ ПРОСУЩЕСТВОВАЛ 2 МЕСЯЦА

Первые Герои Советского Союза (слева направо): Анатолий Васильевич Ляпидевский, Сигизмунд Александрович Леваневский, Василий Сергеевич Молоков, Николай Петрович Каманин, Маврикий Трофимович Сленнёв, Михаил Васильевич Водопьянов, Иван Васильевич Доронин.

16 апреля 1934 года было учреждено звание Героя Советского Союза — высшая степень отличия в СССР — «за личные или коллективные заслуги перед государством, связанные с совершением героического подвига». Герои Советского Союза — это особенная страница нашей истории, где каждое имя — эпоха в жизни страны. Появление звания Героя Советского Союза напрямую связано с освоением Арктики, а летчикам-полярникам было суждено стать первыми Героями страны.

13 февраля 1934 года весь мир узнал о трагедии в Чукотском море: после продолжительного дрейфа раздавлен льдами и ушел на дно пароход «Челюскин», погиб один член экипажа. 104 человека, в том числе женщины и двое детей, экипаж судна и участники полярной экспедиции под руководством Отто Шмидта оказались в палатках на льдине в 35-градусный мороз. Сам Шмидт эвакуацию с «Челюскина» оценил сдержанно: «Выгрузка была произведена исключительно дисциплинированно. Не было ни одного проявления паники, ни одного нарушения порядка».

С «Челюскина» было эвакуировано продовольствие, горючее и стройматериалы. Впоследствии из этих стройматериалов полярники построили для женщин и детей деревянный барак. Участники экспедиции даже построили свою пекарню и выпускали стенгазету под символическим названием «Не сдаемся!»

14 февраля по радио ушла телеграмма: «Москва. Совнарком. 13 февраля в 13 часов 30 минут в 155 милях от мыса Северного и в 144 милях от мыса Уэллен «Челюскин» затонул, раздавленный сжатием льдов». В Москве в тот же день создали комиссию по спасению экспедиции под руководством заместителя главы правительства Валеряна Куйбышева и экстренно провели первое заседание, где стало понятно — быстро пробиться к попавшим в беду челюскинцам ни на собачьих упряжках, ни на пароходе не получится. Спасти людей с дрейфующих льдов можно только эвакуировав их на самолетах.

Началась одна из самых известных и сложных спасательных операций начала XX века.

Прогнозы на спасение экспедиции мировая пресса давала мрачные. Датская газета «Политикен» даже опубликовала некролог Шмидту: «На льдине Отто Шмидт встретил врага, которого ещё никто не мог победить. Он умер как герой».

Действительно, посадить самолет на льдину с торосами, к тому же способную в любой момент расколоться, дело крайне рискованное. Однако нашлись те, кто мог с этой задачей справиться: это были лучшие полярные летчики страны.

Поиск постоянно кочующей льдины с челюскинцами проходил в сложнейших условиях: стояла полярная ночь (24 часа без единого солнеч-

ного луча), то и дело поднимались сильный ветер и пурга, температура опускалась до 40-градусных отметок.

«Вода буквально застывала, пока её сливали. Сел в кабину. Чувствую — леденеют, слипаются веки. Почти ослеп. На взлёте ткнул правой лыжей, но самолёт все-таки оторвался, взмыл. Беру высоту. Чувствую режущую боль в лице. Стащил перчатку, приложил к лицу. А тут ещё хлопает левый мотор. Нет, надо возвращаться, иначе — гроб. Начинаю планировать, перчатку уносите на ропаки. Стиснул зубы от страшной боли, стараюсь удержать штурвал, посадить машину — вспоминал впоследствии летчик Анатолий Ляпидевский — Посадил, подруливаю. Бортмеханик хватает из фюзеляжа снег, трёт мне лицо. Подбегает врач Леонтьев, говорит, заикаясь: «Ай-ай-ай. Ты же отморозил нос, щеки». На другой день сижу с перевязанной физиономией. Слабость. Кожа горит, кровоточит... что за чепуха! Будто кто-то насмеяется надо мной! Выть хотелось от злости. Душа горела».



Фёдор Решетников. Гибель «Челюскина».

«Душа горела» ... 29 (!) раз он безуспешно вылетал на поиски экспедиции и только 30-я попытка оказалась удачной. Первым в лагерь челюскинцев 5 марта 1934-го приземлился экипаж Ляпидевского. Асс-полярник сумел посадить АНТ-4 на площадке, которая была втрое меньше, чем было необходимо. Он доставил в лагерь самое необходимое: продовольствие, кирки, ломы, лопаты и увёз на большую землю десять женщин и двух детей.

Масштабная эвакуация членов экспедиции началась 7 апреля 1934 года, когда был окончательно сформирован авиаотряд спасателей и установилась допустимо летная погода. Люди ждали самолеты, возле палатки, которую челюскинцы прозвали аэровокзалом. У челюскинцев был заранее составлен список, когда и в каком порядке вывозить людей, в первую очередь слабых и больных. Это требование исполнялось беспрекословно.

В двухместные Р-5 сначала сажали по три-четыре человека в штурманские кабины, а потом для перевозки приспособили парашютные ящики из фанеры, подвешенные под крылья самолета. По



Больной О.Ю. Шмидт покидает лагерь челюскинцев.

описанию летчика Василия Молокова посадка пассажира в этом случае происходила так: «Засаживали туда головой вперед, складывали человеку руки и, как мину Уайтхеда, вталкивали в узкий ящик...»

Но несмотря на каверзы Арктики полёты продолжались. У Р-5 были открытые кабины без колпаков и отопления, от ветра их защищал только небольшой прозрачный экран. Летать в такой кабине на 30-ом морозе приходилось по 9-10 часов. Смертельно уставшие пилоты поднимали в воздух свои машины, а те, кто оставался на «земле», в лютую полярную зиму занимались ремонтом и заправкой самолетов.

Однако надо было спешить — льдина, на которой находился лагерь, разрушалась. На взлетной полосе из-за подвижек льдов то и дело возникали торосы, трещины. За один рейс вывозили до шести человек. Доставляли в чукотское становище Ванкарем в 140–160 км от места ледовой стоянки.

... Лётчики совершили 23 рейса. Последним 13 апреля лагерь покинул капитан ледокола Владимир Воронин, тяжело больного Отто Шмидта по распоряжению Москвы вывезли раньше (в списке он поставил себя последним). Забрали и восемь собак, помогавших челюскинцам в дни дрейфа. Спасли всех. Успели — сутки спустя мощный шторм уничтожил лагерь...

Таким образом, впервые в истории освоения Арктики многочисленная экспедиция была полностью спасена, показав всему миру пример выживания в экстремальных условиях полярной зимы.

Жившая в эмиграции (!) во Франции поэтесса Марина Цветаева так выразила свои чувства после известия о завершении спасения:

Челюскинцы! Звук
Как сжатые челюсти.
Мороз из них прёт,
Медведь из них щерится.
И впрямь челюстями
На славу всемирную —
Из льдин челюстей
Товарищей вырвали!

*Советский Союз!
За вас каждым мускулом
Держусь — и горжусь,
Челюскинцы — русские!*

Два месяца страна с замиранием сердца следила за героической эпопеей челюскинцев, вызвавшей в СССР небывалый подъем патриотических чувств. В адрес комиссии по спасению со всех уголков поступило огромное количество изобретательских и рационализаторских предложений, как спасти челюскинцев. Помимо авиации, оленей и ледоколов, предлагали забросить в

лагерь полярников байдарки, аэросани, пневматические лодки, танки-амфибии и шары-прыгуны, послать дирижабли, сбросить в ящиках собак с упряжкой и т.д.

Люди жадно ловили любую информацию о том, что происходит в Чукотском море. Имена полярников вошли в каждый дом. На улицах незнакомые люди обсуждали у репродукторов перипетии спасения челюскинцев. Слово «Герои» было у всех на устах.

Спасатели стали народными героями. И воздавая должное подвигу лётчиков, ЦИК СССР учредил самое логичное в атмосфере народного ликования звание «Герой Советского Союза».



19 июня 1934 года. Москва восторженно встречает челюскинцев и их спасителей. Столица была украшена флагами и транспарантами. Десятки тысяч людей ждали героев у вокзала и ещё больше — на улицах. Машины с челюскинцами были буквально засыпаны цветами и листовками со словами «Гордимся вашей победой!». На Красной площади прошла демонстрация.

И.В. Сталин, выступая на приеме в Кремле в честь челюскинцев и летчиков, сказал: **«Герои Советского Союза проявили то безумство храбрых, которому поют славу. Но одной храбрости мало. К храбрости нужно прибавить организованность, ту организованность, которую проявили челюскинцы на льдине. Соединение храбрости и организованности делает нас непобедимыми».**

Интересно, что изначально никаких знаков отличия, столь привычных нам сейчас, как Золотая Звезда или орден Ленина, не предусматривалось. Награжденному выдавалась лишь почетная грамота от ЦИК СССР, в которой содержалось описание подвига и фамилия героя. Все семеро знаменитых летчиков, участвовавших в спасении экипажа теплохода «Челюскин», вместе с грамотами получили и ордена Ленина — на тот момент высший знак отличия в стране.

В июле 1936 года эта практика была узаконена решением ЦИК СССР — отныне Герой Советского

Союза вместе с грамотой автоматически получал и орден Ленина.

А знаменитая пятиконечная медаль «Золотая звезда», как знак отличия Героев Советского Союза, была утверждена только 1 августа 1939 года, и первыми Героями, получившими и «Золотую звезду», и орден Ленина, стали участники спасения челюскинцев и рекордных авиаперелётов, герои боев в Испании, Китае и Монголии. На той Звезде, которую 4 ноября 1939 года вручили летчику Анатолию Ляпидевскому, стоял №1.

Александр Тамиров

ПОКАЗ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ФИЛЬМА



В СЛЕДСТВЕННОМ КОМИТЕТЕ РОССИИ

25 февраля 2025 года в Центральном аппарате Следственного комитета Российской Федерации состоялся показ документального фильма режиссера Сергея Лачина «Адмирал Ушаков. Восхождение». Это значимое мероприятие было организовано Культурным центром СК России и приурочено к 280-летию со дня рождения великого адмирала Федора Ушакова, который причислен к лику святых.

Перед началом показа с приветственным словом выступил заместитель Председателя Следственного комитета России генерал-полковник

подчеркивает важность проекта для сохранения исторической памяти о выдающемся флотоводце.

Премьера фильма, созданного по благословению Митрополита Викентия, состоялась осенью прошлого года в Зале церковных соборов Храма Христа Спасителя и привлекла почти полторы тысячи зрителей. Кинолента вызвала большой интерес у сотрудников Следственного Комитета России, кадетов и курсантов ведомственных образовательных учреждений.

Документальный фильм «АДМИРАЛ УШАКОВ. ВОСХОЖДЕНИЕ» рассказывает не только о воен-



Александр Вячеславович Федоров. Он отметил важность этой даты и рассказал о присвоении статуса главного храма Следственного комитета России храму великомученика Никиты в Старой Басманной слободе Москвы. На мероприятии почетным гостем выступил Сенатор Российской Федерации, Герой России Юрий Петрович Нимченко.

Мероприятие также посетил архиепископ Одинцовский и Красногорский Фома, который обратился к участникам, подчеркнув значение формирования духовно-нравственных ценностей и служения Отечеству, особенно среди молодежи — обучающихся образовательных организаций Следственного комитета.

С приветственным словом выступил заместитель директора Благотворительного фонда Федора Ушакова Артур Константинович Толузаков. Генеральным продюсером фильма является Председатель совета Благотворительного фонда Федора Ушакова Виктор Викторович Лещенко, что

ных победах адмирала, но и о формировании его личности как образца доблести, верности долгу и христианского милосердия. Съёмочная группа провела зрителей по ключевым моментам жизни героя — от его рождения в ярославской глубинке до блестящих побед над противником.

Фильм акцентирует внимание на важных политических и военных событиях, связанных с превращением России в великую морскую державу, а также на христианской линии судьбы адмирала Ушакова и его духовной связи с Преподобным Феодором Санаксарским. Эта связь стала одной из центральных тем сюжета.

Фильм «Адмирал Ушаков. Восхождение» представляет собой важный вклад в сохранение исторической памяти о великом флотоводце и служит примером для будущих поколений защитников Отечества.



АДМИРАЛЬСКИЙ ПРИЕМ В ЧЕСТЬ 280-ЛЕТИЯ АДМИРАЛА ФЕОДОРА УШАКОВА



24 февраля 2025 года в Колонном зале Дома Союзов состоялся Адмиральский прием, посвященный 280-летию непобедимого адмирала Флота Российского, святого праведного воина Феодора Ушакова. Это торжественное мероприятие объединило единомышленников, патриотов России, и стало значимым событием на фоне годовщины специальной военной операции. В числе гостей был заместитель директора Благотворительного фонда Феодора Ушакова Артур Константинович Толузаков. На приеме собрались люди, активно занимающиеся изучением памяти и наследия великого флотоводца.

Мероприятие началось с церемонии гашения почтовой марки с изображением адмирала и символами его славы. В рамках торжественной программы Генеральный продюсер фильма «Адмирал Ушаков. Восхождение» Виктор Викторович Лещенко и режиссер Сергей Викторович Лачин были награждены знаками отличия Департамента культуры Министерства обороны Российской Федерации «За заслуги».

Также была презентована редкая памятная медаль 1800 года, посвященная освобождению Ионических островов адмиралом Ушаковым. Мероприятие провел заслуженный артист России Александр Олешко, который активно поддерживает события, связанные с наследием адмирала.

Гостям подарили незабываемые музыкальные моменты: выступили артисты и певцы, включая хор «Русский Формат» и Патриаршего архиерея Константина Баргана. Прием завершился выступлением Академического ансамбля песни и пляски Российской армии им. А.В. Александрова, которое сопровождалось бурными аплодисментами зрителей.

Организаторы мероприятия — инициативная группа по строительству духовно-исторического комплекса в честь святого праведного воина Феодора Ушакова в Москве (Левобережный) — создали атмосферу единства и патриотизма, подчеркивая важность сохранения памяти о великом флотоводце для будущих поколений. ▀



«Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг»
НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ
СОЮЗ «РИСКОМ»



НПС «РИСКОМ» ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ
НАИБОЛЕЕ АВТОРИТЕТНЫХ И ОТВЕТСТВЕННЫХ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООБЩЕСТВ В ОБЛАСТИ
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



