

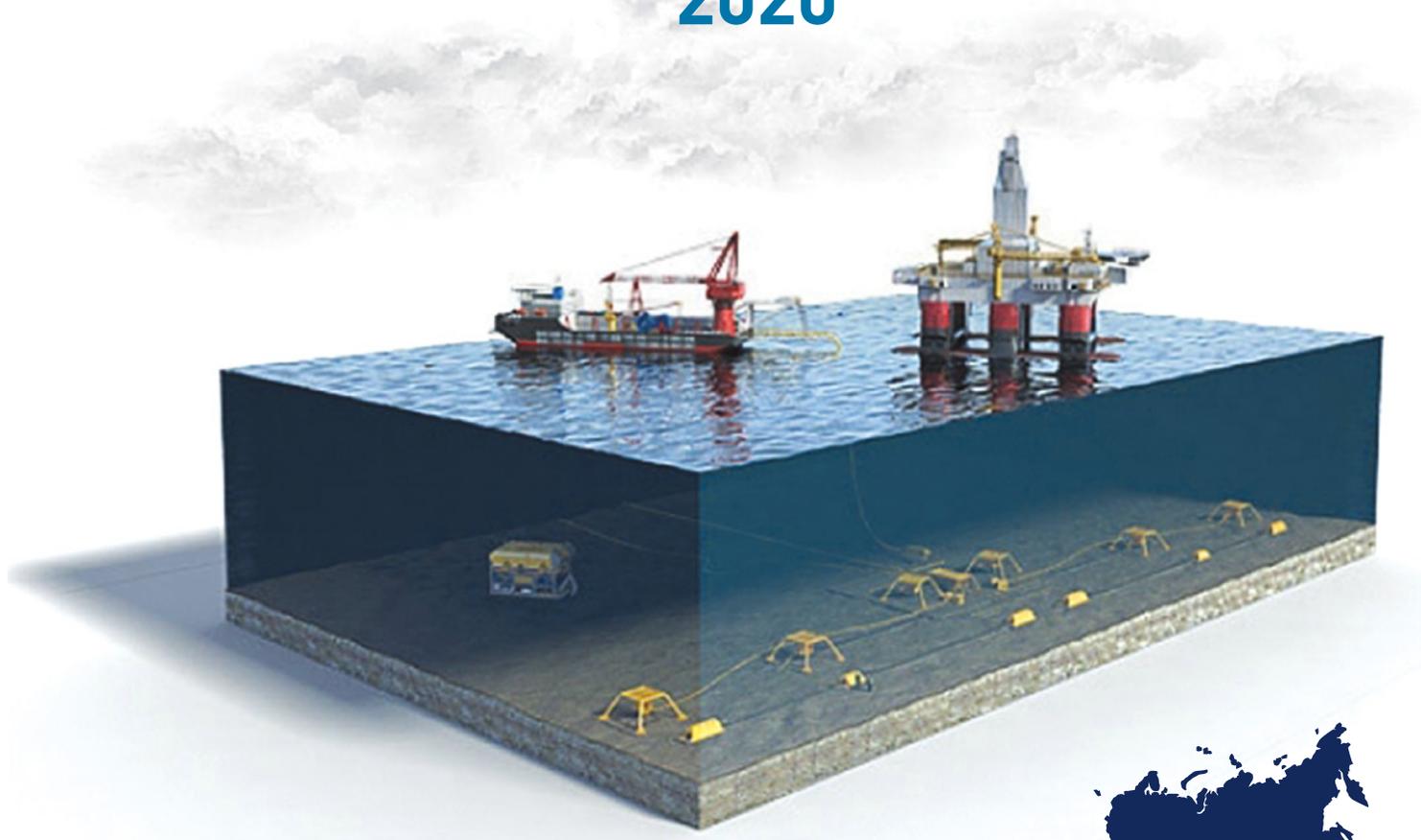


при поддержке Правительства Российской Федерации

СБОРНИК

РАБОТ ЛАУРЕАТОВ МЕЖДУНАРОДНОГО КОНКУРСА НАУЧНЫХ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК,
НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ И ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ
И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

2020



ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ

УДК 371.84 (06)
ББК 74.2.Я7
С23

ISBN 978-5-7688-1154-9

Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 г. - М.: Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технологии развития», 2020.

Настоящий сборник включает в себя работы победителей Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 г.

Под общей редакцией Академика РАН, председателя Научного Совета РАН по геологии и разработке нефтяных и газовых месторождений А.Э. Конторовича и заместителя Министра энергетики Российской Федерации П.Ю. Сорокина.

Организаторы благодарят за эффективную профессиональную работу экспертную межведомственную комиссию Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа.

Дизайн, верстка: www.pereplet7.ru. Печать: АО «Печатный дом «Формат»



ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ

www.technodevelop.ru

РЕШЕНИЕ

об итогах «Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа» 2020 года



**Конторович
Алексей
Эмильевич,**

*Председатель
экспертной
межведомст-
венной
комиссии,
Лауреат Между-
народной премии
«Глобальная
энергия»,
академик РАН*



**Сорокин
Павел
Юрьевич,**
*заместитель
Министра
энергетики
Российской
Федерации*

Международный конкурс научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа (далее – конкурс) проводится ежегодно с 2014 года при поддержке Правительства Российской Федерации, что еще раз подчеркивает значимость и актуальность стоящих перед ним целей – способствовать созданию устойчивого социально-экономического развития и освоения Арктики и континентального шельфа, стимулирование научной, научно-технической и инновационной деятельности, создание условий для внедрения в производство разработок, представляющих интерес для развития научно-технического потенциала.

В этих целях выявляются проблемные вопросы технической и технологической реализации проектов, осуществляется поиск новых технических решений, повышающих их экономическую привлекательность, предлагается широчайший спектр научно-технических и производственных задач, направленных на развитие и освоение Арктических территорий.

Заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и организациями прорабатываются вопросы о внедрении технологий и технических решений, отраженных в работах лауреатов конкурса, с привлечением организаций соответствующих отраслей промышленности, оказывается содействие в реализации их проектов.

Для оценки результатов работ создана экспертная межведомственная комиссия, в состав которой вошли ведущие ученые Российской Академии Наук, представители федеральных органов исполнительной власти, ведущих научных, исследовательских, конструкторских и проектных институтов и организаций России, которая подводит итоги, определяет лауреатов и победителей конкурса, принимает решение об издании сборника их работ.

На конкурс 2020 года было представлено 64 работы от 52 организаций, охватывающие широчайший спектр научно-технических и производственных задач, направленных на обеспечение работ по освоению углеводородных ресурсов шельфа Арктики.

Все работы связаны с развитием Арктической зоны Российской Федерации и способствуют «Осно-

вам государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. № 164.

Отобранные работы являются коллективным трудом ученых и высококвалифицированных инженеров и конструкторов, имеют достаточно высокий

уровень разработки, а в ряде случаев готовые к внедрению проектные решения.

Структура конкурсных проектов включает в себя различные технико-технологические направления, среди которых имеются как обычные студенческие учебные научные работы, отчеты о НИР, заявки на уровне идей, а так же серьезные, масштабные научные и инновационные работы.



ЭКСПЕРТНАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ КОМИССИЯ

Российская Академия Наук Председатель экспертной межведомственной комиссии	КОНТОРОВИЧ Алексей Эмильевич	Академик РАН, председатель Научного Совета РАН по геологии и разработке нефтяных и газовых месторождений
Минэнерго России Сопредседатель экспертной межведомственной комиссии	СОРОКИН Павел Юрьевич	Заместитель Министра энергетики Российской Федерации
КНТЦ освоения морских нефтегазовых ресурсов. Заместитель председателя экспертной межведомственной комиссии	МИРЗОЕВ <i>Дилижан Аллахверди оглы</i>	Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор
Минэнерго России	АНТОШИН Виктор Владимирович	Заместитель директора Департамента добычи и транспортировки нефти и газа
Минэнерго России	ВЕРЗИЛОВ Михаил Михайлович	Заместитель директора Департамента угольной и торфяной промышленности
ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»	НАЗАРЫЧЕВ Александр Николаевич	Ректор, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»	ГОЛОВИНА Светлана Юрьевна	Заведующая кафедрой трудового права, д.э.н., профессор, член постоянно дей- ствующей рабочей группы по совершен- ствованию трудового законодательства Комитета по труду и социальной политике Государственной Думы РФ
ФГУП «Атомфлот»	ГОЛОВИНСКИЙ Станислав Акимович	Заместитель генерального директора по развитию предприятия. Руководитель Представительства ФГУП «Атомфлот» в г. Москве
Минюст России	ГОРОДИЛОВ Андрей Владимирович	Заместитель директора Департамента управления делами
ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России	КОНЕВ Алексей Викторович	Директор по инновациям
Минэнерго России	КУЛАПИН Алексей Иванович	Директор Департамента государственной энергетической политики

ООО «ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ», Секретарь экспертной межведомственной комиссии	МОРОЗОВА Ольга Павловна	Генеральный директор
ПАО «Россети»	СМИРНОВ Владимир Витальевич	Помощник Председателя Совета директоров ПАО «Россети»
Минэнерго России	РУБЦОВ Антон Сергеевич	Директор Департамента переработки нефти и газа
НИЦ «Курчатовский институт»	УСТИНОВ Василий Сергеевич	Руководитель комплекса ядерных транспортных энергетических технологий
ПАО «МОЭСК»	ЧУДНОВ Александр Юрьевич	Советник Генерального директора

Секретарь экспертной
межведомственной комиссии



О.П. Морозова

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЛАУРЕАТЫ ПЕРВОЙ ПРЕМИИ

- 1.1. «Наземная атомная станция малой мощности для разработки крупных месторождений полезных ископаемых Арктической зоны на примере потенциального района размещения в Республике Саха (Якутия)».
Авторский коллектив АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова»: Щекин Д. В., Бых Я. О., Калинин М. В., Долинский А. В., Дворецков А. С., Соколов А. Н., Менжулов А. В., Пих С. В., Синюшин Д. К., Нестерова О. В. 12
- 1.2. «Цифровая воздушная линия электропередачи 110 кВ».
Авторский коллектив ПАО «МРСК Северо-Запада»: Петров Д.С., Харитонов Н.П., Кузьменко Г.Г. 15
- 1.3. «Технологические инновации производства витаминизированных хлебопродуктов повышенной калорийности в Арктике».
Авторский коллектив Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»: Целыковских А. А., Ермошин Н. А., Пахомов В. И., Романчиков С. А. 21
- 1.4. «Разработка технических средств обеспечения айсберговой безопасности морских нефтегазопромысловых сооружений».
Авторский коллектив коллектив ПАО «НК «Роснефть» и Санкт-Петербургского Государственного Морского Технического Университета (СПбГМТУ): Никущенко Д. В., Родионов А. А., Тряскин Н. В., Маковский А. Г., Пашали А. А., Сочнев О. Я., Корнишин К. А., Ефимов Я. О. 25
- 1.5. «Опыт применения современных цифровых технологий в вопросах обеспечения безопасности платформы «Приразломная»».
Авторский коллектив ООО «Газпром нефть шельф»: Мохнаткин И. В., Билалов А. Д. 27
- 1.6. «Развитие методов изотопной геохимии благородных газов для эффективного и высокoэкологичного поиска углеводородов на континентальном шельфе Арктики».
Авторский коллектив Радиeвoгo института им. В.Г. Хлопина: Костылев А. И., Смирнов И. В., Душин В. Н., Якубович О. В. 31

2. ЛАУРЕАТЫ ВТОРОЙ ПРЕМИИ

- 2.1. «Инновационная разработка – комплекс ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов в Арктике».
Авторский коллектив ООО «ТермоЛазер»: Чухланцев Д. О., Умнов В. П. 36
- 2.2. «Технология ЯМР-исследований керна на скважине с целью минимизации риска ямр-каротажа в условиях геологических осложнений и определение по данным оперативного анализа с помощью мобильной установки ЯМР-Керн интервалов для опробования пластов и перфорации».
Авторский коллектив коллектив ООО «ТНГ-Групп»: Мурзакаев В. М., Белоусова Н. Н., Брагин А. В., Скирда В. Д., Александров А. С., Иванов Д. С., Дорогиницкий М. М. 42
- 2.3. «Повышение точности прогнозных расчетов ореолов оттаивания и осадки грунта в основании магистрального нефтепровода с учетом данных с датчиков средств очистки и диагностики о температуре перекачиваемой нефти».
Авторский коллектив коллектив ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»): Половков С. А., Коротков А. А., Кайнов Ю. А., Кузнецова О. В. 46

2.4. «Инновационные решения совершенствования процессов приготовления пищи в ограниченных (закрытых) пространствах». <i>Авторский коллектив Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»: Топоров А. В., Абдурахманов Э. Ф. оглы, Басько А. П., Николюк О. И., Оболенская Ю. А.</i>	54
2.5. «Разработка и обоснование тактико-технических требований к мобильному комплексу жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в арктическом регионе». <i>Авторский коллектив Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»: Каптюх А. Н., Бабенков В. И., Мамедов Р. Г., Зеленковский В. В., Мороз А. Ф.</i>	56
2.6. «Повышение надежности каналов ВЧ-связи в условиях гололедно-изморозевых отложений арктического региона с применением инновационных разработок, внедренных в АО «Россети Тюмень». <i>Автор АО «Россети Тюмень»: Курмиев О. В.</i>	59
2.7. «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». <i>Авторский коллектив АО НПП ПТ «Океанос», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»: Волошин С. Б., Драгомощенко Ф. О., Занин В. Ю., Маевский А. М.</i>	62
3. ЛАУРЕАТЫ ТРЕТЬЕЙ ПРЕМИИ	
3.1. «Расчетно-экспериментальные методы и технологии обеспечения прочности и живучести техники Крайнего Севера и Арктики». <i>Авторский коллектив федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ): Москвичев В. В., Черняев А. П., Чернякова Н. А., Волохов Г. М., Оганьян Э. С., Князев Д. А., Махутов Н. А., Резников Д. О., Слепцов О. И.</i>	78
3.2. «Анализ проблем и перспектив применения систем подводной добычи углеводородов в российской Арктике». <i>Авторский коллектив Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина): Гриняев С. Н., Самарин И. В., Калашников П. К., Сочнева И. О., Медведев Д. А.</i>	82
3.3. «Быстровозводимые высокоустойчивые дороги для арктических зон». <i>Авторский коллектив Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет»: Трофимов В. И., Джабаров А. С.</i>	84
3.4. «Экологическая диспетчерская АО «Мурманский морской торговый порт» (автоматизированная информационная система производственного экологического контроля (АИС ПЭК АО «ММТП»))». <i>Авторский коллектив АО «Мурманский морской торговый порт»: Масько А. В., Гуляев Е. И., Севостьянова Е. В., Дайнеко В. С., Ковалева И. В.</i>	91

3.5. «Разработка технологии производства диспергентов на основе
поверхностно-активных реагентов для использования при ликвидации
аварийных разливов нефти на морских акваториях».

Авторский коллектив АО «Региональный центр инжиниринга в сфере химических технологий»: Матвеев В. И., Куряшов Д. А., Башкирцева Н. Ю., Мингазов Р. Р. 95

3.6. «Проблемы строительства и восстановления железных дорог
в Арктической зоне Российской Федерации и пути их решения».

Авторский коллектив НИИ (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) Федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва»: Дрецинский В. А., Ласточкин Н. Н. 99

ЛАУРЕАТЫ ПЕРВОЙ ПРЕМИИ



АО «ОПЫТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО МАШИНОСТРОЕНИЯ ИМ. И.И. АФРИКАНТОВА»
**НАЗЕМНАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КРУПНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)**

*Авторский коллектив:
Щекин Дмитрий Владимирович,
Бых Ярослав Олегович,
Калинчев Михаил Владимирович,
Долинский Алексей Валерьевич,
Дворецков Александр Сергеевич,
Соколов Андрей Николаевич,
Менжулов Анатолий Васильевич,
Пих Святослав Витальевич,
Синюшин Дмитрий Константинович,
Нестерова Ольга Владимировна.*

АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время по мере истощения запасов ископаемого сырья в освоенных регионах становится актуальной разведка и освоение труднодоступных территорий. Для России это, прежде всего, регионы Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и Арктического бассейна. Там сконцентрированы основные национальные запасы полезных ископаемых. Для обеспечения устойчивого промышленного развития и снабжения населения коммунальными ресурсами эти регионы должны быть обеспечены электрической и тепловой энергией.

Создание в указанных регионах современных надежных источников энергии, таких как АСММ с РУ РИТМ-200Н, обеспечит условия для промышленного освоения богатых месторождений углеводородного топлива и полезных ископаемых и качественное изменение социальных и экономических условий жизни в этих регионах, максимально приблизив их к уровню развитых регионов Европейской территории России.

В условиях удалённых и труднодоступных территорий в наибольшей степени проявляются такие достоинства атомных энергоисточников как длительный срок работы без перегрузки топлива, высокая надёжность, подтвержденная эксплуатацией прототипов, высокий уровень безопасности. Таким образом, атомные станции малой мощности являются весьма привлекательными и способны успешно конкурировать с традиционными источниками, использующими органическое топливо.

КОНЦЕПЦИЯ АСММ С РУ РИТМ-200Н

Атомная станция малой мощности состоит из энергоблока в состав которого входит реакторная установка (РУ) РИТМ-200Н тепловой мощностью 165 МВт и конденсационная паротурбинная установка установленной мощностью 53 МВт(э). Проект реакторной установки основан на уникальном опыте проектирования реакторных установок малой и средней мощности АО «ОКБМ Африкантов». В зависимости от требований заказчика, возможно увеличение мощности представленной АСММ в 2 раза без изменения пятна застройки.

Разработанная на основе судовой РУ РИТМ-200 для универсальных атомных ледоколов, РУ РИТМ-200Н для АСММ заимствовала от прототипа основные технические решения:

а) реактор интегрального исполнения (*рис. 1*), который предполагает размещение активной зоны, парогенераторов и главных циркуляционных насосов в едином корпусе. Данное решение позволяет исключить такой класс аварий как течи трубопроводов теплоносителя первого контура большого диаметра;

б) компактные прямоточные парогенераторы, которые обеспечивают реакторной установке высокие «саморегулирующие» свойства за счет обратных связей (температурного и мощностного коэффициентов реактивности), что позволяет упростить систему управления реактором и обеспечить высокую степень «самозащитности» реакторной

установки в реактивных и теплоотводных «авариях».

в) герметичный первый контур и оборудование, не имеющее аналогов в энергетических стационарных установках: герметичные главные циркуляционные насосы, «герметичные» прямоточные парогенераторы (отсутствие продувок), быстродействующая локализирующая пневмоприводная арматура, а также использование газовой системы компенсации изменения объёма теплоносителя первого контура.

г) бак металловодной защиты, который является опорной конструкцией реактора и оборудования первого контура;

д) прочно-плотная металлическая защитная оболочка, рассчитанная на внутренне избыточное давление 0,4 МПа, ограничивающая выход радиоактивных веществ в окружающую среду в том числе в авариях с тяжелым повреждением активной зоны;

е) технология обращения с топливом, предусматривающая «сухой» способ перегрузки активных зон с помощью специального контейнера и хранение отработанных ОТВС в баках выдержки за пределами герметичного ограждения.

Предполагаемое место размещения АСММ (рис. 2) расположено в климатической зоне с вечномерзлыми грунтами вблизи поселка Усть-Куйга, Усть-Янский улус, Республика Саха (Якутия).

РУ РИТМ-200Н размещается в главном корпусе, состоящем из реакторного отделения (РО), турбинного отделения (ТО), блока инженерных систем (БИС), закрытого распределительного устройства (ЗРУ) и спецкорпуса.

РО и БИС скомпонованы вместе и являются «Ядерным островом» АСММ. К «ядерному острову» приблокирован спецкорпус. ТО и ЗРУ сблокированы отдельно «от ядерного острова» и соединены эстакадой трубопроводов через пожарный проезд.

«Турбинный остров» состоит из турбинного отделения, сблокированного с закрытым распределительным устройством.

Схема планировочной организации земельного участка приведена на рис. 3.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Расчеты показали, что средняя себестоимость электроэнергии на горизонте жизненного цикла, вырабатываемой серийной АСММ с РУ РИТМ-200Н,



Рис. 1. Реактор РУ РИТМ-200Н.



Рис. 1. Реактор РУ РИТМ-200Н.

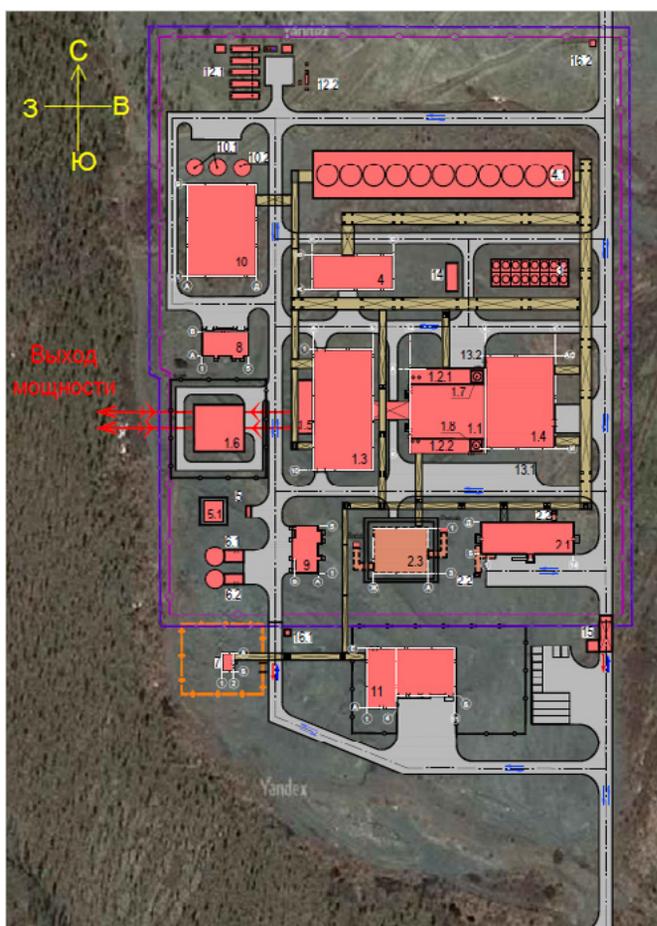


Рис. 3. Схема планировочной организации земельного участка. Главный корпус №1 включает: 1.1 – реакторное отделение; 1.2.1, 1.2.2 – блок инженерных систем; 1.3 – турбинное отделение; 1.4 – спецкорпус; 1.5 – ЗРУ 6 кВ; 1.6 – ЗРУ 110 кВ; 1.7, 1.8 – вентиляционная труба.

составляет, ориентировочно, 10,1 руб./кВт·ч при ставке дисконтирования 5%, 12,9 руб./кВт·ч при ставке дисконтирования 7%.

Себестоимость электроэнергии АСММ с РУ РИТМ-200Н ниже себестоимости вырабатываемой электроэнергии ДЭС в 2-3 раза в зависимости от стоимости дизельного топлива (региона размещения ДЭС).

При функционировании АСММ с РУ РИТМ-200Н в течение всего жизненного цикла (60 лет) будут получены налоговые и мультипликативный эффекты от сооружения атомной станции. Так, общие налоговые поступления в бюджет в течение всего жизненного цикла АСММ составят 87,2 млрд. руб., что более чем в 2 раза больше стоимости самой станции. Кроме того, оценка мультипликативного

эффекта на всем жизненном цикле от сооружения АСММ с РУ РИТМ-200Н составляет 5,4 рубля на один вложенный рубль.

СРАВНЕНИЕ С СУЩЕСТВУЮЩИМИ ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ И ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Технология добычи ресурсов арктического шельфа с использованием ядерной энергетики не имеет прямых действующих аналогов на сегодняшний день.

К аналогам близких по мощности из числа зарубежных атомных станций малой мощности можно отнести:

- проект CAREM (PWR, 27 МВт(э), одномодульная, наземная, Аргентина), находящийся на стадии разработки, строится прототип 25МВт;
- проект SMART (PWR, 90 МВт(э), одномодульная, наземная, Корея), находящийся на стадии разработки;
- проект «NuScale» (PWR, 12x45 МВт(э), 12-модульная, наземная, США), находящийся на стадии разработки;
- проект АСР-100 (PWR, 100 МВт(э), от одного до восьми модулей, наземная, Китай), находящийся на стадии строительства;
- проект «Gen4 Module» («Hyperion») (25 МВт(э), одно- или многомодульная, подземное размещение контейнента, США), находящийся на стадии разработки.

Наиболее готовыми к реализации являются проекты CAREM и SMART.

По своим мощностным характеристикам АСММ с РУ РИТМ-200Н наиболее всего подходит для энергоснабжения широкого круга потенциальных потребителей. Нагрузки промышленных производств в районах Арктики находятся в диапазоне от 50 до 200 МВт или кратных им.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергоблок АСММ с РУ РИТМ-200Н электрической мощностью 53 МВт(э) является перспективным вариантом для освоения регионов Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и Арктического бассейна, где сконцентрированы основные запасы углеводородов и других полезных ископаемых и конкурентоспособен с ДЭС аналогичной мощности.

ПАО «МРСК СЕВЕРО-ЗАПАДА»

ЦИФРОВАЯ ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ

Авторский коллектив:

Цельковских Александр Александрович,
Ермошин Николай Алексеевич,
Пахомов Вячеслав Иванович,
Романчиков Сергей Александрович.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА

Пилотный проект реализуется с целью повышения эффективности и надежности работы распределительного электросетевого комплекса за счет применения инновационных технологий мониторинга состояния элементов ВЛ и ее окружающей среды.

В 2018-2021 гг. планируется реализация 3-х этапов пилотного проекта «Цифровая воздушная линия электропередачи 110 кВ».

1-й этап проекта будет реализован в 2019-2020 гг. на транзите ВЛ 110 кВ Лахденпохья – Хаапалампи (Л-122) и ВЛ 110 кВ Лахденпохья – Кузнечная (Л-129) РЭС-3 ПО «Западно-Карельские электрические сети» Карельского филиала ПАО «МРСК Северо-Запада», соединяющем энергосистемы Ленинградской области и Республики Карелия.

2-й этап проекта будет реализован в 2019-2021 гг. являться расширением пилотного проекта и тиражированием части его результатов. Этап предлагается реализовывать:

- в Карельском филиале ПАО «МРСК Северо-Запада» на ВЛ 110 кВ Лахденпохья – Кузнечная (Л-129), ВЛ 110 кВ Л-133, ВЛ 110 кВ Л-134, ВЛ 110 кВ Л-135.

- в Мурманском филиале ПАО «МРСК Северо-Запада» на ВЛ 110 кВ Л-163/164 ПО «Северные электрические сети» филиала ПАО «МРСК Северо-Запада»

- в Архангельском филиале на ВЛ 110 кВ Архангельск 1.

- в Новгородском и Псковском филиала – в части развертывания системы грозопеленгации на территории соответствующих субъектов РФ.

- в целом в ПАО «МРСК Северо-Запада» - в части внедрения системы предоставления детализирован-

ной прогнозной метеорологической информации.

3-й этап включает в себя два вида работ:

- обследование 2-х ВЛ, находящихся в удаленных и труднодоступных местах, с применением БПЛА, оснащенными приборами определения скрытых дефектов элементов ВЛ (опор, изоляторов, креплений и так далее) (ультрафиолетовые, акустико-эмиссионные и др. средства контроля).

- создание специализированного хранилища для объединения, полученных от различных систем и видов обследования данных, сохранение данных, и разработка алгоритмов их анализа, интеграция с программными комплексами ПАО «МРСК Северо-Запада» (СУПА, GIS, ОИК и др.). Реализация 3-го этапа планируется в 2021 г.

В ходе реализации проекта выполняется установка и внедрение в эксплуатацию следующих систем и технологий:

1-Й ЭТАП

- мониторинг натяжения проводов и грозозащитных тросов;

- определение наличия гололеда или налипания мокрого снега;

- измерение вибрации провода, температуры провода и угла наклона опоры;

- сбор и передача информации от автономных метеостанций о ненормативных погодных явлениях на трассах ВЛ (температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, атмосферное давление);

- сбор информации от устройств индикации короткого замыкания на ВЛ;

- установка систем и устройств связи в объеме, необходимом для работы указанных систем и передачи данных.

2-Й ЭТАП

- мониторинг натяжения проводов и грозозащитных тросов;
- определение наличия гололеда или налипания мокрого снега;
- измерение вибрации провода, температуры провода и угла наклона опоры;
- сбор и передача информации от автономных метеостанций о ненормативных погодных явлениях на трассах ВЛ (температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, атмосферное давление);
- сбор информации от устройств индикации короткого замыкания на ВЛ;
- создание виртуальной модели элементов ВЛ, местности в которой проходит трасса ВЛ, ДКР и просеки, с определением высот отдельных деревьев, угрожающих деревьям, продольный и поперечный профиль ВЛ и другие параметры;
- использование роботизированных комплексов обследования технического состояния проводов ВЛ и автоматизированных систем сбора и обработки информации о состоянии оборудования ВЛ с использованием пилотных и беспилотных летательных аппаратов (на основании данных лазерного сканирования, обработки фото-/видео материалов и расчетных моделей);
- определение места межфазного замыкания и однофазного замыкания с точностью до 1 пролета;
- предиктивная детализированная аналитика погодных условий и отключений ВЛ на основе заранее заданного набора и параметров неблагоприятных метеословий с созданием прогностической модели возникновения последствий от неблагоприятных метеословий;
- спутниковая фотофиксация состояния трасс ВЛ;
- грозопеленгация для точного определения мест попадания молний в элементы ВЛ;
- мобильные устройства с функцией чтения QR-кодов или RFID-меток для выполнения осмотров и работ на ВЛ для автоматизации функций организации работ, учета дефектов и выполненных на ВЛ работ;
- установка систем и устройств связи в объеме, необходимом для работы указанных систем и передачи данных.

3-Й ЭТАП

- Использование роботизированных комплексов обследования технического состояния проводов ВЛ и автоматизированных систем сбора и обработки информации о состоянии оборудования ВЛ с использованием беспилотных летательных аппаратов (на основании данных обследования ВЛ приборами определения скрытых дефектов элементов).
- Создание специализированного хранилища для сохранения и объединения, полученных от различных систем и видов обследования данных, сохранение данных, и разработка алгоритмов их анализа, интеграция с программными комплексами ПАО «МРСК Северо-Запада» (СУПА, GIS, ОИК и др.). Алгоритмы анализа будут предназначены для прогнозирования отказов и планирования работ по ТОиР, для принятия и оценки решений на основе анализа получаемых от внедряемых систем массивов данных (Big data), расчета индекса технического состояния.
- Оценка возможности использования систем автоматизированного мониторинга и диагностики элементов ВЛ для перехода на техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию.
- Определение возможности использования получаемых данных в целях раннего прогнозирования вероятных отключений и повреждений элементов ВЛ и их предотвращения.
- Выявление потенциала оптимизации существующих бизнес-процессов компании, в том числе для дальнейшего масштабирования решений.

ЦЕЛИ ПРОЕКТА

Определение технических возможностей систем мониторинга и диагностики ВЛ в условиях реальной эксплуатации ВЛ, а именно:

1. Определение возможностей и подтверждение эффективности использования систем автоматизированного мониторинга и диагностики (в том числе роботизированной) опор, проводов, тросов, состояния окружающей среды, составления виртуальной модели ВЛ для прогнозирования отказов при различных внешних условиях, для планирования работ по ТОиР в целях снижения эксплуатационных затрат на ВЛ.
2. Отработка технологий работы внедряемых сис-

тем и совместного анализа получаемых данных, сопоставление их с опытом эксплуатации, выявление реальных преимуществ использования данных, получаемых от внедряемых систем.

3. Получение реальных данных для точного расчета эффектов по уменьшению продолжительности аварийного отключения ВЛ и частоты отключений (показатели, влияющие на вероятность роста индексов SAIFI и SAIDI) при дальнейшем масштабировании внедряемых систем.

Создание специализированного хранилища, разработка алгоритмов анализа данных, интеграция с программными комплексами ПАО «МРСК Северо-Запада» (СУПА, GIS, ОИК и др.), а именно:

1. Создание специализированного хранилища большого объема неструктурированных тегированных данных с целью их агрегирования в исходном формате, обработки методами машинного обучения и BigData для поиска взаимосвязей и визуализации результатов анализа в качестве поддержки при принятии решений.

2. Разработка алгоритмов для расчета индекса технического состояния ВЛ, прогнозирования отказов и планирования работ по ТОиР, предназначенных для принятия и оценки решений на основе анализа получаемых от внедряемых систем массивов данных (Big data) и с применением технологий машинного обучения (Machine Learning).

3. Оценка возможности использования систем автоматизированного мониторинга и диагностики элементов ВЛ для перехода на техническое обслуживание по фактическому состоянию.

4. Определение возможности использования получаемых данных в целях раннего прогнозирования вероятных отключений и повреждений элементов ВЛ и их предотвращения.

5. Выявление потенциала оптимизации существующих бизнес-процессов компании, в том числе для дальнейшего масштабирования решений.

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

1. Задача проекта – получение сведений о:

- технологиях установки оборудования, методах наиболее эффективного использования методик и средств мониторинга и обследования ВЛ;

- необходимой периодичности задействования (периодичность актуализации цифровой модели

ВЛ, периодичность повторного спутникового фотографирования ВЛ и т.п.)

- способах наладки и ввода в работу оборудования;

- эффективности и надежности работы оборудования;

- достаточности и качестве получаемых от внедряемых и используемых систем и моделей сведений для планирования работ по ТОиР, автоматической обработки данных о состоянии ВЛ и т.д.;

- возможности выявления и своевременного предупреждения возникновения ненормативных возмущений и нагрузок способных привести к отключению ВЛ, определению места повреждения ВЛ;

- прогнозирования развития событий по определенным сценариям, в том числе при возникновении неблагоприятных погодных явлений.

2. Проектом также решается вопрос настройки связи с установленными на ВЛ устройствами (представляющими собой распределенные объекты) и организации автоматического сбора информации с устройств и ее передачи для дальнейшей обработки на серверы ПАО «МРСК Северо-Запада».

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Описание целевой модели функционирования результатов проекта.

Проектные решения предусматривают усовершенствование существующих процессов оперативно-технологического управления, поиска и устранения места повреждения на ВЛ в части:

• Расчет индекса технического состояния ВЛ, ведения базы данных по оборудованию и элементам ВЛ и их актуальному состоянию.

• Планирование и выполнение работ по ТОиР и инвестиционной деятельности, в том числе расширения просек ВЛ, приемка работ от исполнителей.

• Реагирование на ухудшение погодных условий и образование ненормативных нагрузок на провода и тросы ВЛ происходит не по факту отключения ВЛ или предупреждений Гидрометцентра, а по факту получения сведения от прогнозных гидрометеорологических моделей (опережающая информация) и системы грозопеленгации. Таким образом, достигается концентрация усилий именно на зоне возникновения неблагоприятного метеорологического явления, а не в целом в РЭС, ПО или филиале.

- Поиск и ликвидация причин отключения ВЛ за счет направления бригад в зоны наиболее вероятного местонахождения повреждения, полученным по данным индикаторов короткого замыкания и анализа данных с систем мониторинга ВЛ, системы грозопеленгации.

Таким образом, целевой моделью функционирования результатов проекта является формирование соответствующего информационного пространства с учетом необходимости получения качественных и достоверных сведений о состоянии территориально разнесенного оборудования, развития информационной и технологической инфраструктуры, применения российских информационно-телекоммуникационных технологий, формирования новой технологической основы для социальной и экономической сферы.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Проектом предусматривается внедрение комплекса технических решений, направленных при полноценном внедрении на повышение надежности электроснабжения, автоматизацию технологических процессов, интеграцию данных различных оконечных устройств, включающего следующие устройства, технологии и системы:

В части составления цифровой модели ВЛ и обследования ВЛ

- Создание виртуальной модели элементов ВЛ, местности в которой проходит трасса ВЛ, ДКР и просеки, с определением высот отдельных деревьев, угрожающих деревьям, продольный и поперечный профиль ВЛ и другие параметры;

- Использование роботизированных комплексов обследования технического состояния проводов ВЛ и автоматизированных систем сбора и обработки информации о состоянии оборудования ВЛ с использованием пилотных и беспилотных летательных аппаратов (на основании данных лазерного сканирования, обработки фото-/видео материалов и расчетных моделей, обследования ВЛ приборами определения скрытых дефектов элементов);

- Спутниковая фотофиксация состояния трасс ВЛ и анализ спутниковых снимков;

- Мобильные устройства с функцией чтения QR-кодов или RFID-меток для выполнения осмотров и работ на ВЛ для автоматизации функций организации работ, учета дефектов и выполненных на ВЛ работ.

В части обработки данных о состоянии и планирования работ

- Создание специализированного хранилища для сохранения и объединения, полученных от различных систем и видов обследования данных, сохранение данных, и разработка алгоритмов их анализа, интеграция с программными комплексами ПАО «МРСК Северо-Запада» (СУПА, GIS, ОИК и др.)

- Алгоритмы анализа будут предназначены для прогнозирования отказов и планирования работ по ТОиР, для принятия и оценки решений на основе анализа получаемых от внедряемых систем массивов данных (Big data), расчета индекса технического состояния.

В части оснащения системой непрерывного мониторинга

- Установка системы мониторинга интенсивности гололедообразования на ВЛ с учетом фактических погодных условий.

- Установка системы контроля температуры провода ВЛ.

- Организация сбора и передачи данных с установленных комплектов оборудования.

- Разработка методов анализа получаемых данных и подготовка соответствующих инструкций для персонала.

- Использование детализированных прогнозных гидрометеорологических моделей.

- Использование грозопеленгации для точного определения мест попадания молний в провода и опоры ВЛ.

В части определения места повреждения

- Индикаторов короткого замыкания.

- Организация сбора и передачи данных с установленных комплектов оборудования.

- Разработка методов анализа получаемых данных и подготовка соответствующих инструкций для персонала.

- Грозопеленгация для точного определения мест попадания молний в провода и опоры ВЛ.

Все технические решения исполнительных устройств в составе проекта полностью интегрируемы в информационные комплексы верхнего уровня, а также имеют поддержку стандартных протоколов обмена данными.

Основные технические решения в проекте выбраны исходя из логики построения единой циф-

ровой системы электроснабжения и системы непрерывного мониторинга и диагностирования оборудования в режиме реального времени с передачей данных для анализа и принятия решений.

ЭФФЕКТЫ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА

Первоочередными эффектами пилотного проекта является снижение OPEX на обслуживание ВЛ и CAPEX в части работ по расширению просек ВЛ, поскольку в рамках пилотного проекта планируется разработка и отработка алгоритмов перехода на новую схему планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту ВЛ, а также реконструкции ВЛ в части расширения ее просеки. Новый подход к планированию и выполнению работ заключается в увеличении периодичности обходов и осмотров, выполняемых вручную, сокращении трудозатрат на «ручной» контроль параметров и обработку результатов работ и осмотров ВЛ, в организации выполнения работ по фактическому состоянию элементов ВЛ с учетом индекса технического состояния, использовании точных, учитывающих в том числе рельеф и реальный ландшафт местности, данных по растительности в местах прохождения ВЛ и т.д.

Кроме снижения OPEX и CAPEX, эффектами от внедрения пилотного проекта станет снижение индексов SAIDI и SAIFI Карельского, Мурманского и Архангельского филиалов за счет снижения общей аварийности и уменьшения времени поиска и ликвидации причин отключения на ВЛ, которые охвачены пилотным проектом. Подсчет этих индексов производится на основании общепринятых формул, данные для расчета берутся из статистики аварийности за определенный период (в нашем случае базовый 2018 год).

ОПИСАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В БИЗНЕС ПРОЦЕССАХ КОМПАНИИ

Реализация пилотного проекта окажет значительные изменения на существующие технологические и бизнес-процессы в Обществе. В частности:

- На данный момент периодичность обходов и осмотров каждой ВЛ по всей длине должна быть не реже 1 раза в год. С учетом действующих инструкций и состояния элементов ВЛ, методов выполнения обходов (непосредственные ручные замеры всех параметров и т.д.), они занимают длительное вре-

мя. При этом известно, что большинство дефектов и неисправностей на ВЛ развиваются в течение длительного времени (более 1 года). Реализация проекта позволит разделить дефекты и отклонения от нормативного состояния на ВЛ на две категории: выявляемые с помощью средств автоматизированного обследования, составления и обработки данных 3-х мерных моделей ВЛ и спутниковых снимков (в т.ч. угрожающие деверья, кустарник, нарушение габаритов ВЛ, разрушение изоляции, отклонения от вертикали опор, хищения элементов опор, ослабление растяжек, вспучивания грунтов и пр.), и требующие непосредственного осмотра ВЛ персоналом (трещины в элементах опор, загнивание элементов, надежность креплений и пр.). Имея данную информацию появляются возможности:

- Увеличить периодичность осмотра ВЛ с 1 года до 2 лет, тем самым сократить трудозатраты на данный вид деятельности.

- Изменить методику проведения осмотров с целью выполнения контроля только тех параметров, которые невозможно при данном развитии уровня технологий выявить посредством автоматизированного инструментального обследования, анализа снимков высокого разрешения, 3-х мерных моделей, технологий анализа больших данных и машинного обучения. Такое изменение методики проведения осмотров существенно ускорит их проведение и высвободит рабочее время персонала для проведения непосредственно ремонтных работ и ТО.

- На текущий момент при выполнении осмотров ВЛ, работ по ТОиР персонал вносит все результаты в листки осмотра, акты и пр., с последующим переписыванием в эксплуатационные журналы. Указанное обстоятельство вносит субъективизм в выявление дефектов, потерю части информации при многочисленных переписываниях данных, задержки в их обработке и учете, затрудняет планирование устранения дефектов, приводит к непроизводительным затратам времени и т.д. После реализации проекта большая часть дефектов будет выявляться автоматизировано и результаты такого обследования будут поставляться в оцифрованном виде, подготовленном для использования в информационных системах Общества. Персонал, в свою очередь, используя мобильные устройства, будет обязан единожды вносить все результаты работ по ТОиР и обходам и осмотрам в базу данных

в электронном виде только в части не выявляемых автоматизировано дефектов.

- Планирование работ и приемка их результатов (в т.ч. результатов работ, выполненных внешним подрядчиком) на текущий момент имеет ряд недостатков. Планирование осуществляется на основании данных поступающих с задержкой и полученных из осмотров и замеров параметров, выполненными в ручную инструментами. Кроме того, в данном процессе не исключен человеческий фактор, включая ошибки замеров или пропуск дефекта. Приемка работ осуществляется также с непосредственным выездом на место и проведением непосредственных замеров. При реализации проекта планируется массив всех зафиксированных дефектов элементов ВЛ, при этом относительно каждого элемента и нормируемого параметра будет оценено текущее состояние, рассчитан индекс технического состояния и составлены прогнозы дальнейшего изменения состояния и индекса. Указанные меры позволят:

- Использовать при планировании максимум объективных данных полученных из результатов автоматизированного обследования ВЛ, 3-х мерных моделей ВЛ, спутниковых снимков, данных с мобильных устройства персонала.

- Использовать при планировании прогностические модели развития ситуаций, расчета индекса технического состояния, и оценивать и нормировать вероятность возникновения технологических нарушений с каждым элементом ВЛ в отдельности.

- Перейти на систему обслуживания элементов ВЛ по состоянию, а не по периодичности.

- Оперативное и технологическое управление ВЛ в части предупреждения и ликвидации технологических нарушений, на данный момент является во основном «отстающим» от хода событий, т.е. действия предпринимаются по факту возникновения технологического нарушения. Средства поиска места повреждения, особенно на линиях с односторонним питанием, обладают рядом методических и технических недостатков, снижающих точность определения поврежденного участка. Также выезжая на предполагаемое место повреждения бригада

ВЛ не обладает данными о возможном характере повреждения. Указанные обстоятельства отрицательно сказываются на времени ликвидации нарушения и затратах на данный вид работ. В рамках пилотного проекта, помимо создания 3-х мерных моделей и алгоритмов прогноза состояния элементов ВЛ планируется внедрение сервиса, позволяющего оценивать вероятность возникновения определенных видов повреждений элементов ВЛ на основе метеорологических данных с высокой степенью детализации, данных с систем мониторинга гололедно-изморозевых образований, температуры провода, локальных метеостанций, грозопеленгации. Указанные сервис позволят существенно изменить текущий технологический процесс оперативного и технологического управления ВЛ, а именно:

- Диспетчерский персонал будет иметь на руках объективно полученную вероятность возникновения конкретного повреждения на участке ВЛ (обрыв провода, падение дерева, гроза и пр.). Указанное обстоятельство дает возможность подготовить бригады к выезду или ввести режимы повышенной готовности в четко обозначенных границах до момента возникновения технологического нарушения, обоснованно расставить приоритеты бригадам при ликвидации повреждений (что актуально при массовых отключениях), снизить трудозатраты и материальные затраты на поиск и ликвидацию повреждений.

- Подготовить базу для создания системы оповещения потребителей при повреждениях и отключениях ВЛ, организовать взаимодействие с членами штабов, местными органами власти, СМИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утверждены приказом Минэнерго России от 19.06.2003 №229)*
2. *Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания.*
3. *Стандарт организации ПАО «Россети» СТО 34.01-23.1-001-2017, Объемы и нормы испытаний электрооборудования.*

ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
им. ГЕНЕРАЛА АРМИИ А.В. ХРУЛЁВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ВИТАМИНИЗИРОВАННЫХ
ХЛЕБОПРОДУКТОВ ПОВЫШЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТИ В АРКТИКЕ

Авторский коллектив:

*Целыковских Александр Александрович,
Ермошин Николай Алексеевич,
Пахомов Вячеслав Иванович,
Романчиков Сергей Александрович.*

Снижение уровня запасов природных ресурсов и, прежде всего, углеводородного сырья во многих странах мира требует освоения новых нефтегазовых месторождений. В связи с этим становятся весьма актуальными проблемы поиска и разработки источников сырьевых ресурсов в Арктической зоне. Однако, не смотря на большие запасы углеводородов на арктическом шельфе, их добыча осложняется сложными природно-климатическими условиями и не развитостью инфраструктуры для выполнения поисковых работ, разведки и обустройства разведка нефтегазовых месторождений. Наряду с отсутствием транспортных коммуникаций, сложностью организации систем жизнеобеспечения, не маловажной является задача продовольственного обеспечения работы поисковых отрядов, геологоразведочных партий, вахтовых команд. Исходя из этого, для организации работ требуется обоснование мероприятий продовольственного обеспечения задействованных в освоении новых месторождений небольших по количеству действующих автономно групп специалистов.

При этом характерными задачами является разработка индивидуальных рационов питания, технологий производства продуктов питания в сложных природно-климатических условиях Арктики, способов хранения и транспортировки продовольствия и исходных компонентов. Инновационная деятельность в этом направлении должна быть направлена на разработку хлебопродуктов из цельного зерна, а также устройств для их производства в условиях низких температур. Это обусловлено тем, что хлебопродукты являются обязательным компонентом в ежедневном рационе питания и составляют 35–40 % его калорийности. Помимо этого, хлеб и хлебобулочные изделия относятся к продуктам питания с короткими сроками хранения,

что не позволяет создать их запасы с доставкой с хлебозаводов материковой части [1].

Для производства хлеба и хлебобулочных изделий предлагается технология сепарированной очистки и электрогидравлического размола зерна, электроконтактной выпечки хлеба и хлебобулочных изделий [2].

Сущность технологии заключается использовании физического эффекта ультразвуковой обработки воды, зерна, дрожжевой суспензии, электрогидравлическом размоле зерна и смешивании ингредиентов при термостатическом давлении и воздействии вибрации. В основе технологии использованы методы сепарированной очистки зерна от примесей, его электрогидравлического размола и электроконтактной выпечки хлеба и хлебобулочных изделий в условиях низких температур окружающей среды. Это обуславливает ряд преимуществ перед традиционной технологией производства хлеба.

Во-первых, при использовании в качестве исходного компонента цельного зерна значительно упрощается процесс транспортировки и хранения исходного сырья. При данном способе не требуется создания специальных условий для хранения и транспортировки муки.

Во-вторых, применение для размола зерна физических принципов электрогидравлического удара непосредственно в процессе производства хлеба исключает затраты на создание, содержание и функционирование технологического оборудования для производства муки.

В-третьих, предлагаемая технология основана на использовании физического эффекта ультразвуковой обработки воды, а также электрогидравлического смешивания ингредиентов при термостатическом давлении и воздействия вибрации, что позволяет

ускорить процесс производства хлеба и хлебобулочных изделий.

Для реализации этой технологии разработано компактное технологическое оборудование – комбинированное устройство размола зерна и производства хлеба [КУРЗХ] [3].

Работа комбинированного устройства основывается на использовании физических принципов принудительной сегрегации зерна для его очистки с последующим электрогидравлическим размолом в целях получения пульпы. В дальнейшем выполняется турбулентный замес, смешивание ингредиентов и электроконтактная выпечка.

Комплект КУРЗХ позволяет реализовать следующие процессы: аэрогидроочистки зерна и его обработки инфракрасным излучением; электрогидравлического размола зерна; пульсирующего прод-

вижения теста внутри технологической трубы и его смешивания с ингредиентами; брожения в процессе многофакторного интенсифицирующего воздействия вибрации; электроконтактной выпечки хлеба; нарезки хлебобулочных изделий вибрационным ножом и их упаковки в термоусадочную пленку [8-10]. Принципиальная схема работы комбинированного устройства размола зерна и производства хлеба КУРЗХ представлена на рисунке 1.

Объединение процессов размола зерна и непосредственного производства хлебобулочных изделий в одном устройстве на основе использования физических принципов принудительной сегрегации зерна для его очистки с последующим электрогидравлическим размолом, а также турбулентного замеса и смешивания ингредиентов и электроконтактной выпечки, позволяет обеспечить незначи-

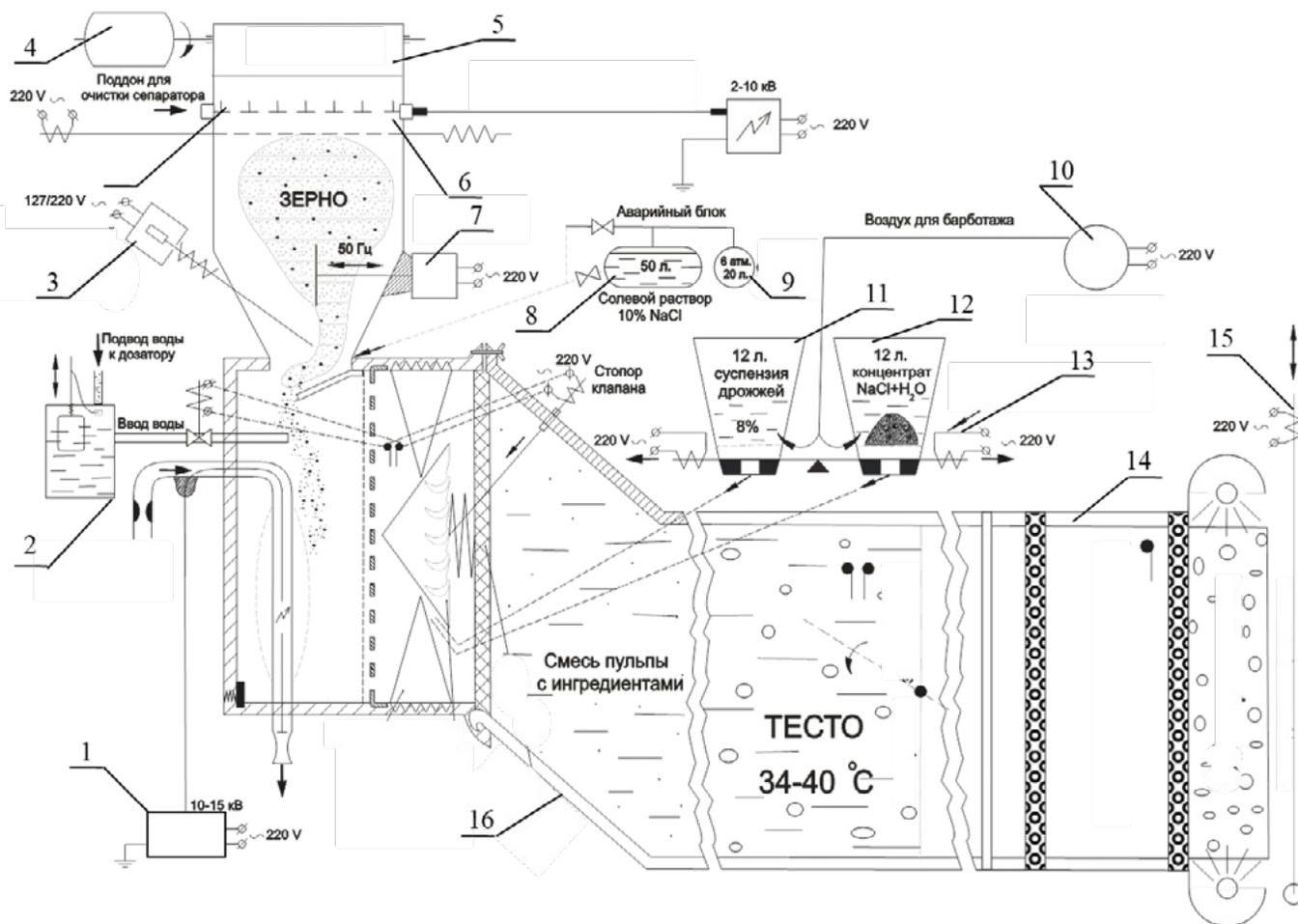


Рис. 1. Принцип работы комбинированного устройства КУРЗХ:

- 1 – генератор; 2 – дозатор воды; 3, 13 – электромагнитный клапан; 4 – поддон; 5 – триер; 6 – электрический сепаратор; 7 – вибратор; 8 – емкость; 9 – баллон; 10 – мембранный воздушный насос; 11 – дозатор дрожжевой суспензии; 12 – дозатор солевого раствора; 14 – электроконтактный нагреватель; 15 – вибрационный нож; 16 – технологическая труба

тельные массо-габаритные характеристики (масса 0,3 т, объем 1,5 м³) и достаточно низкое энергопотребление для работы предлагаемого устройства. При этом КУРЗХ можно использовать как в стационарных столовых и малогабаритных минипекарнях, так и в полевых условиях. Устройство может работать в полуавтоматическом режиме, является простым в обслуживании и экономичным по расходу электроэнергии (до 6 кВт).

Требуется пояснения способ очистки зерна. Очистка зерна производится в электростатическом сепараторе, работа которого сводится к принудительной сегрегации цельного зерна. В последующем происходит обработка зерна инфракрасным излучением, позволяющем существенно улучшить качество и микробиологические показатели хлебобулочных изделий с повышенным содержанием пищевых волокон. При подаче высокого напряжения между центральным электродом и цилиндром, по которому поступает зерно, возникают электростатические силы, легко разделяющие лузгу, оболочки, чешуйки, пыль, щуплые семена сорняков и целое зерно, так как последнее в 3-10 раз тяжелее и не задерживается сепаратором. Предварительная инфракрасная обработка зерна перед дроблением регулирует активность амилолитических ферментов, стабилизирует реологические свойства тестовых полуфабрикатов и повышает качество зернового хлеба [4-7].

Процесс измельчения зерна идет равномерно, что недостижимо при механическом размоле. Длительность импульса (воздействия), подаваемого источником импульсного напряжения при каждом микровзрыве, соответствует 10–100 мкс, скорость деформации сдвига материала достигает 300 м/с и более, давление в размольной камере должно регулироваться в широких пределах от десятков кг/см² до 1000 кг/см² и более. Зерно, соударяясь между собой и стенками размольной камеры, преобразуется в более легкую по плотности мучную пульпу. Значительная часть целлюлозы оболочки разрушается до крахмала и сахаров. Это повышает пищевую ценность хлебобулочных изделий. При возникающих давлениях уничтожаются микроорганизмы (бактерии, грибы), то есть происходит стерилизация пульпы. Она позволяет использовать зерно без промывки и пропаривания. Отсутствие других видов брожения и повышенное количество углеводов обеспечивают хорошие условия для

брожения хлебопекарных дрожжей в тесте, а пульсации в тесте ускоряют их размножение.

Пульсирующий поток пульпы на выходе из размольной камеры, создает периодическое разрежение. Это обеспечивает равномерное поступление дрожжевой суспензии и солевого раствора. Пульсирующее тесто резко уменьшает свою вязкость, обеспечивая применение статического смесителя ингредиентов (дрожжевой суспензии, солевого раствора с полученной пульпой).

Выброженное тесто непрерывно поступает в многоканальный электроконтактный нагреватель, который зафиксирован на втором конце технологической трубы, где выпекается хлеб. Электроконтактная выпечка хлеба позволяет сохранить биологически ценные вещества сырья и предотвратить образование неусваиваемых и опасных соединений (полициклические углеводы, в частности бензпирен), характерных для традиционной радиационно-конвективной выпечки. Этот эффект достигается благодаря температурному режиму выпечки в пределах от 94–95 °С, в то время как при радиационно-конвективной выпечке температура достигает 270 °С. Для получения поджаристой корочки на выходе из электроконтактного нагревателя кондуктивным способом происходит перегрев корки хлеба электродами, изготовленными из металла с высоким электрическим сопротивлением в керамической оболочке (хлеб металла не касается).

Выпекаемый хлеб может быть любой формы (квадратный, прямоугольный, круглый или полукруглый), в зависимости от формы трубы электроконтактного нагревателя. Выпечка хлеба составила от 3 до 10 мин в зависимости от содержания соли в тесте.

Новизна технологического решения, состоит в том, что по сравнению с имеющимися, технология позволяет ускорить процесс производства, повысить качество, сократить количество обслуживающего персонала и расход энергоресурсов на основе электромагнитной выпечки хлебобулочных изделий, электрогидравлического размола зерна и технологии сепарированной очистки от примесей.

Практическая значимость технологии заключается в обеспечении сохранности полезных свойств зерна на каждой технологической операции производства, сокращения затрат на транспортировку и хранение исходного сырья, уменьшения количества единиц

применяемого технологического оборудования и обслуживающего персонала, а также продолжительности производства хлебобулочных изделий. Процесс измельчения зерна идет равномерно, что недостижимо при механическом размоле. Значительная часть целлюлозы оболочки разрушается до крахмала и сахаров, что повышает пищевую ценность хлебопродуктов и его белизну. При возникающих давлениях уничтожаются микроорганизмы, споры и плесени, т.е. происходит стерилизация пульпы. Это позволяет использовать зерно без промывки и пропаривания. Отсутствие других видов брожения и повышенное количество углеводов обеспечивают хорошие условия для дрожжей в тесте, а пульсации в тесте ускоряют размножение дрожжей.

Наряду со снижением затрат времени на производство хлеба и хлебобулочных изделий по предложенной технологии, повышается их биологическая ценность, а также обеспечивается возможность производства хлебопродуктов из цельного зерна в условиях низких температур. Производство хлеба по предлагаемому способу отличается низкой себестоимостью, высокой технологичностью, что позволяет широко использовать этот способ в системе продовольственного обеспечения небольших групп специалистов в условиях значительного удаления от стационарных объектов жизнеобеспечения в арктической зоне.

Рассмотренные преимущества предложенного способа свидетельствуют о том, что дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку способов производства консервированных и концентрированных видов продовольствия для организации питания в районах Крайнего Севера и Арктической зоны; оптимизацию хранения продовольствия, модернизацию технических средств в условиях низких температур, совершенствование технологического оборудования для приготовления пищи, разработку научно-обоснованных рекомендаций по внедрению новых технических решений в процессы продовольственного обеспечения населения в отдаленных местностях, а также в условиях чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий, карантинных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев А. А., Романчиков С. А. Инновационные решения в сфере производства продукции агропромышленных предприятий. Институт промышленного менеджмента,

экономики и торговли. Сборник научной конференции с международным участием (14-19 ноября 2016 г.). - ч. 1. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та – С. 61-64.

2. Ермошин Н. А., Романчиков С. А. 2018. [Совершенствование производства хлебопродуктов для группировок войск \(сил\) в особых условиях](#), *Военная мысль*. № 3. С. 19-26

3. Романчиков С. А., Тарасов С. Н. Пат. 2645219 Российская Федерация МПК А21В7/00. Хлебопекарная печь для производства хлеба из цельного зерна / заявитель и патентообладатель ООО «СПЕЦТЕХМАШ» (RU). - № 2016112198/13; заявл. 31.03.2016, опубл. 19.02.2018 г. Бюл. № 5.

4. Верболоз Е. И., Лоза А. А. 2017 Оценка значений технологических параметров электрогидравлического воздействия на зерновой продукт численными методами. *Вестник ВГУИТ*, – Воронеж, – № 2, Т. 79, – С. 68–72.

5. Алексеев Г. В., Сергачева Е.С., Леу А.Г., Гончаров М.В. Оценка работоспособности новых рабочих органов оболочечного типа для очистки и измельчения пищевого сырья. *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2017. т. 20. № 3. – С. 533-540.

6. Черных В. Я., Лабутина Н. В., Крикунова Л. Н. и Спирин Р. И. Разработка технологии зернового хлеба на основе ИК-обработкой зерна пшеницы. *Материалы научно-технической конференции «Технологии живых систем»* – М. МГУПП, 2004. – С. 12 –16.

7. Алексеев Г. В., Башева Е. П., Дерканосова А. А. Возможные направления компьютерного моделирования и проектирования технологических машин и оборудования пищевых производств. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. № 4 (66). – С. 22-27.

8. Злобин, Л. А.. Оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства. М.: Агропромиздат. 1987. – 200 с.

9. Савельев А. П., Алексеев Г. В., Николюк О. И. [Расширение ассортимента хлебобулочной продукции ресурсосбережения процесса выпечки](#) *Ползуновский вестник*. 2018. № 2. – С. 65-68.

10. Алексеев Г. В., Титова Н. Е., Савельев А. П., Николюк О. И. Конструкция энерго- и ресурсосберегающей пекарной камеры. *Хлебопродукты*. 2018. № 9. – С. 55-58.

11. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A. Technological innovations in bread production in the Arctic. Overview of the International Conference "Technological innovations in bread production in the Arctic – MIST: Aerospace-II" // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862(1). P. 032003(1-7). doi:10.1088/1757-899X/862/3/032002.

ПАО «НК «РОСНЕФТЬ», САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (СПБГМУ)

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЙСБЕРГОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Авторский коллектив:

Никущенко Дмитрий Владимирович,
Родионов Александр Александрович,
Тряскин Никита Владимирович,
Маковский Александр Германович,
Пашали Александр Андреевич,
Сочнев Олег Яковлевич,
Корнишин Константин Александрович,
Ефимов Ярослав Олегович.

Целью работы является разработка технологии моделирования процесса отклонения айсбергов от морских нефтегазопромысловых сооружений при освоении континентального шельфа, а также разработка технического проекта буксировочной системы, пригодной для условий российской Арктики.

Концепция работы заключается в комплексном подходе к моделированию движения айсбергов при буксировке, включая численный расчет обтекания айсберга водой и воздухом, опыты в волновом бассейне и аэродинамической трубе, анализ колебательных процессов в буксировочной системе. Все используемые при моделировании айсберги были отбуксированы в Карском и Баренцевом морях в 2016-2017 гг, что позволило также включить в анализ результаты натуральных экспериментов.

Выполнено численное моделирование обтекания айсбергов (модели которых были построены с помощью специализированных средств трехмерного моделирования) водой и воздухом, в ходе которого были получены следующие результаты:

- разработана математическая модель численного моделирования обтекания айсбергов водой и воздухом на основании решений уравнений Навье-Стокса и неразрывности, осреднённых по методу Рейнольдса;
- проведен расчет гидродинамических сил и моментов сил для случая поступательного движения айсберга с постоянной скоростью, для случая вращения айсберга вокруг неподвижной оси, проходящей через центр масс, с постоянной угловой скоростью в стационарной (RANS) постановке, а так-

же с постоянным ускорением и для случая вращения айсберга вокруг неподвижной оси, проходящей через центр масс, с постоянной угловой скоростью в нестационарной (uRANS) постановке.

Исследуемый объект (айсберг) является несимметричным телом сложной формы. При его «круговой продувке» с различными скоростями определены позиционные и вращательные составляющие гидродинамические характеристики. В численном эксперименте построены мгновенные траектории движения жидких частиц и векторные поля в различных плоскостях. Определены направления буксировки айсбергов с минимальным моментом и наименьшим сопротивлением. Результаты численного как качественно, так и количественно хорошо согласуются с физическим моделированием (рис. 1).

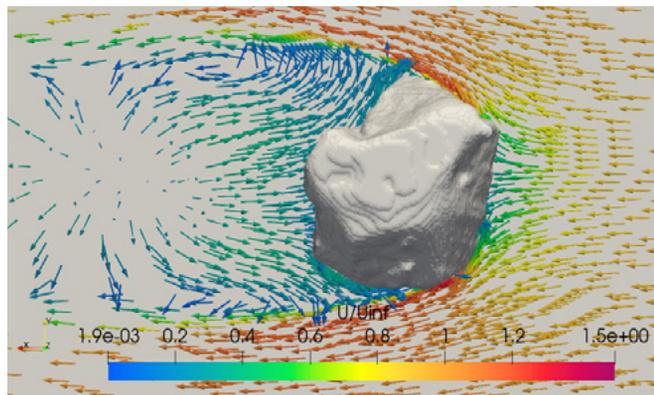


Рис. 1. Численный расчет обтекания айсберга при буксировке.

Выполнено физическое моделирование буксировки в опытовом бассейне и аэродинамической трубе, включая такие испытания как:

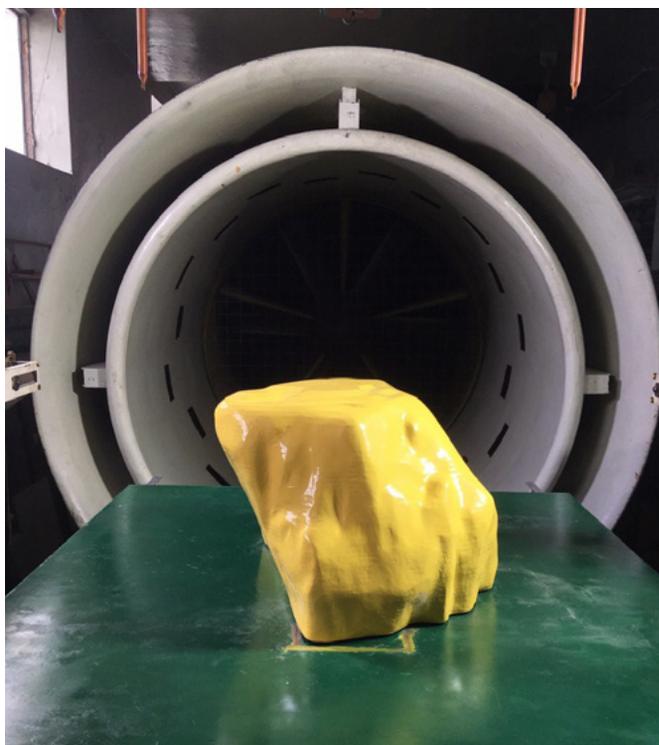


Рис. 2. Модель айсберга вблизи экрана в открытой части аэродинамической трубы.

- определение коэффициентов гидродинамических сил и моментов, действующих на модели айсбергов.
- определения добавочного сопротивления на волнении;
- измерения в аэродинамической трубе сил и моментов в горизонтальной плоскости.

Выполнен анализ возможных вариантов буксировочной системы, которые учитывали:

- форму айсберга;

- особенности взаимодействия айсберга с захватывающей сеткой;
- особенность изменения сил сопротивления движению айсберга во времени (рис. 2).

Разработанная уточненная математическая модель буксировочной системы отличается от существующих аналогов детальным учетом особенностей взаимодействия тросовой системы с айсбергом в трехмерной постановке. Использование этой модели позволило выполнить анализ различных вариантов буксировочных систем и выявить условия возникновения экстремальных и аварийных ситуаций в процессе буксировки. На основе проведенных исследований разработаны технические проекты трех вариантов буксировочных систем, которые перекрывают широкий диапазон встречающихся айсбергов, и сформулирован оригинальный вариант буксировочной системы в форме заявки на полезную модель.

В результате синтеза всех полученных в результате работ данных, построена интегрированная модель движения системы «Судно-Айсберг», а также изложена упрощенная методика определения гидродинамических и аэродинамических характеристик айсберга (рис. 3).

Достигнутые в работе результаты существенно расширили представления о движении айсбергов в Российской Арктике, позволили обеспечить средствами моделирования отклонения айсбергов перспективные проекты на арктическом шельфе, а также обоснованно снизить риски негативного воздействия опасных ледяных образований на морские нефтегазовые сооружения.



Рис. 3. Отображение хода буксировки айсбергов.

ООО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ ШЕЛЬФ»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОПРОСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАТФОРМЫ «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

*Авторский коллектив:
Мохнаткин Иван Викторович,
Билалов Айдар Дамирович .*

ВВЕДЕНИЕ

При выборе системы обеспечения безопасности производственных объектов шельфа необходимо руководствоваться многокритериальным анализом применимости той или иной технологии. Основной системой на платформе «Приразломная» является автоматизированная система управления и безопасности (АСУБ).

Как показал опыт работы на Арктическом шельфе, достижение того уровня безопасности, которого удалось добиться за прошедшие 6 лет с момента начала эксплуатации платформы «Приразломная», это прямой результат слаженных действий персонала в данном направлении (*рис. 1*).

Улучшения системы и применение самых современных мировых практик на «Приразломной» позволяют достигать новых вершин в вопросах безопасности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Внедрение системы мониторинга и управления сигнализациями (СМУС) позволило повысить эффективность работы персонала центрального поста управления платформой. Новые подходы в работе специалистов вкупе с последними цифровыми технологиями дали положительный синергетический результат.

В настоящее время, в условиях колоссального роста объема необходимой для обработки информации, ее нечеткости, сокращения времени для принятия решения традиционные подходы к решению многих управленческих задач оказываются бессильными. И здесь на первый план выходят новые, перспективные направления, к которым относятся в первую очередь когнитивные и цифровые технологии. Они наиболее выигрышны как раз при работе с системами, характеризующихся многоаспектностью происходящих в них процессов, анизотропией свойств и изменчивостью характера

процессов во времени. К подобным сложным системам можно отнести автоматизированную систему управления и безопасности платформы «Приразломная».

Проецируя тему современных технологий на платформу «Приразломная», можно утверждать, что уже несколько лет успешно функционирует один из инструментов цифровизации процессов – Система мониторинга и управления сигнализациями автоматизированной системы управления и безопасности платформы.

Опыт применения СМУС в работе платформы показал высокую востребованность цифровых технологий при решении прикладных задач на шельфовых активах.

Интеллектуальный программный комплекс СМУС помогает решать ключевой вопрос по повышению безопасности производственных процессов в аспекте снижения поступающих сигналов на рабочую станцию инженера-технолога центрального поста управления (ЦПУ), управляющего 24 часа в сутки всеми системами платформы.

Целями проекта внедрения Системы мониторинга и управления сигнализациями на МЛСП «Приразломная» являлось повышение уровня промышленной безопасности технологических процессов путем снижения количества срабатываний сигнализаций, снижения нагрузки на инженеров-технологов центрального поста управления и повышение эффективности их действий по своевременному обнаружению и предотвращению аварийных ситуаций.

Каждую смену в автоматизированной системе управления и безопасности МЛСП «Приразломная» происходит генерация около сотни тревожных сигналов (алармов), которые в основном связаны с вводом в эксплуатацию оборудования, отклонениями технологического режима в лимитах уставок.



Рис. 1. Направления обеспечения безопасности МЛСП «Приразломная».

Эффективная система сигнализаций обеспечивает правильное оповещение инженера-технолога ЦПУ в нужное время с правильной важностью, приоритетом и необходимой информацией. При поступлении на АРМ ЦПУ большого количества – лавин – активных алармов инженеру-технологу ЦПУ бывает затруднительно заметить новые критически важные тревожные сообщения и своевременно предпринять действия для недопущения развития потенциальных последствий. При управлении сложными технологическими процессами игнорирование тревожных сигналов не допустимо. Цена ошибки принятия решений очень высока, учитывая специфику работы на шельфе Арктики.

Внедрение СМУС помогло отследить текущее состояние системы управления сигнализаций с помощью мониторинга показателей системы тревожных сообщений. Но для того, чтобы реально улучшить систему, нужен комплексный подход при работе со СМУС, основанный на принципе PDCA (англ. «Plan-Do-Check-Act» – планирование-действие-проверка-корректировка) циклически повторяющемся процессе принятия решений.

Подобный подход должен обязательно включать в себя не только сам инструмент в виде программного

обеспечения в новой версии Honeywell, но и включать процесс пересмотра и оптимизации всех тревожных сообщений специалистами центрального поста управления, а также внедрение системы статического и динамического подавления алармов.

Цели по оптимизации и рационализации сигнализаций АСУБ всегда должны быть декомпозированы на месячный уровень. Отклонения от них и от достигнутых ранее цифр анализируются, и происходит генерирование корректирующих мероприятий инженерным составом МЛСП.

Повышение эффективности системы мониторинга и управления сигнализациями за счет применения нового инструмента «статическое и динамическое подавление сигнализаций» позволяет отфильтровать ненужные, устаревшие сигнализации на АРМ ЦПУ, что благоприятно влияет на работу инженера-технолога ЦПУ, снизив информационную нагрузку и повысив концентрацию на корневых индикаторах происходящих технологических процессов.

Выбранный вектор развития на Приразломном, направленный на соблюдение правил техники безопасности производства, развитие компетенций персонала, применение передовых иностранных практик, опробованных на проектах «интеллек-

туальных месторождений», дает положительные результаты, что подтверждается статистикой.

Выбор системы обеспечения безопасности производственных объектов шельфа обусловлен критерием применимости той или иной технологии. Как уже доказано на примере Приразломного, синергия внедряемых подходов наиболее жизнеспособна и результативна в кратчайшие сроки.

СМУС позволяет повышать уровень знаний об объекте, указывает на «узкие места» и позволяет делать прогноз развития, помогает определить ресурсы, необходимые для оптимизации технологических процессов, накапливает опыт аналогичных событий, на основе чего персоналом разрабатывается детальный план компенсирующих мероприятий. Более того, работа со СМУС позволяет принимать наиболее эффективные решения в случае

необходимости корректировки технологического процесса, способствует безопасному и безаварийному управлению производственными операциями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленный специалистами МЛСП опыт в области практического применения интегрированных проектов для решения прикладных задач работы «Приразломной» можно каскадировать далеко за пределы периметра платформы и применить на других проектах Компании.

В настоящий момент апробация и применение новых цифровых инструментов – неотъемлемая часть работы сотрудников МЛСП «Приразломная».

Применение «умных» цифровых технологий на Приразломном ежедневно помогает персоналу платформы принимать верные решения, работать

Процесс управления сигнализациями

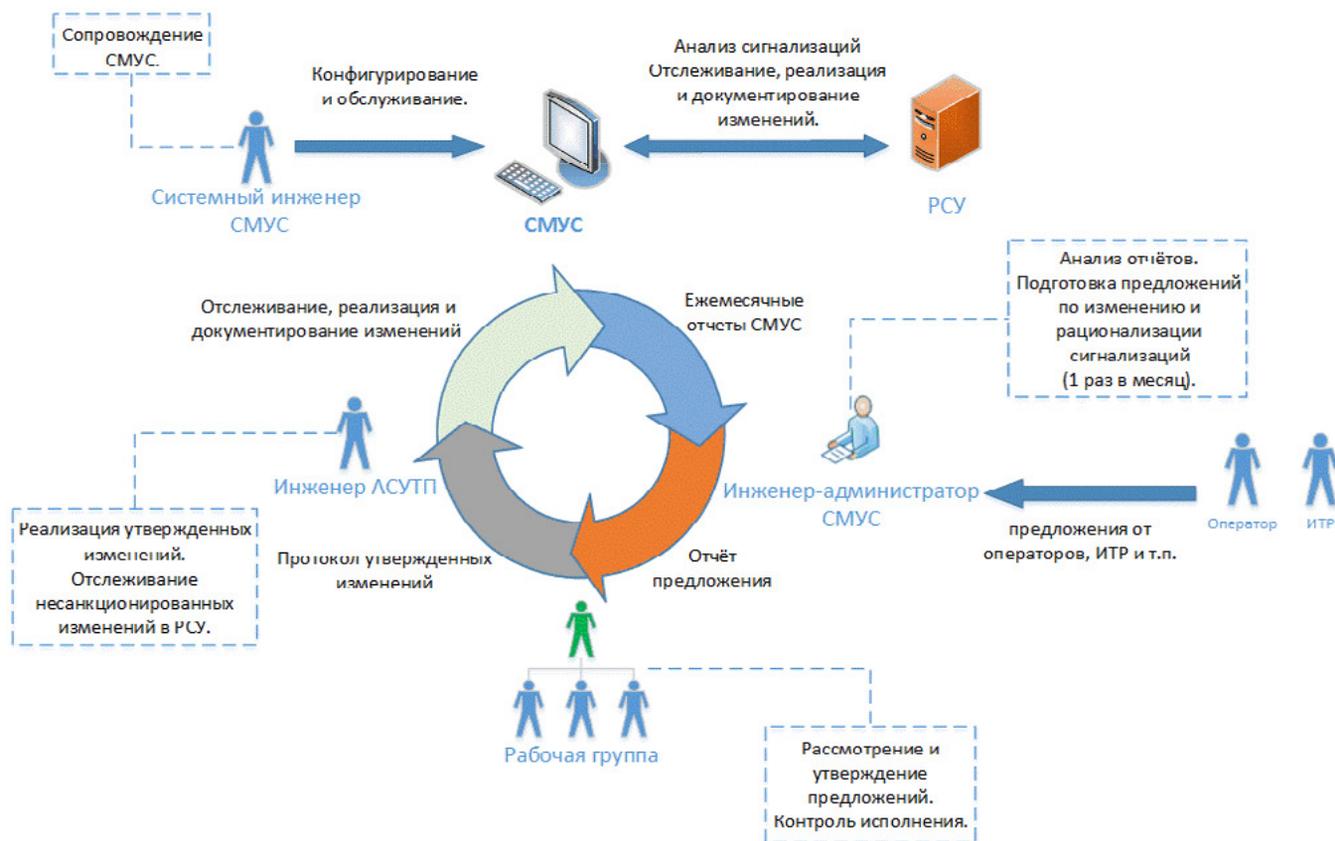


Рис. 2. Метод PDCA управления системой сигнализаций на МЛСП «Приразломная».

в режиме непрерывных улучшений, одновременно повышая уровень коллективной и персональной культуры безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мохнаткин И.В., Билалов А.Д. Внедрение системы мониторинга и управления сигнализациями на МЛСП «Приразломная» // Сборник тезисов конференции RAO CIS Offshore. - 2017г. - с.182-183

2. Серенко И.А., Билалов А.Д. Внедрение системы мониторинга и управления сигнализациями систем обеспечения управления и безопасности платформы «Приразломная» // Сборник тезисов Международного конкурса научных,

научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа (Арктика-2017). - 2017г. - с.152-153

3. Билалов А.Д., Мохнаткин И.В. Сравнительный анализ лучших мировых и российских подходов в вопросах обеспечения безопасности на примере месторождения «Приразломное» // Сборник тезисов конференции RAO CIS Offshore. - 2019г. - с.140-142

4. Когнитивные технологии будущего [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mipt.ru/za-nauku/hard-copies/2008/1812/technologii.php>. - Заглавие с экрана. - (Дата обращения: 19.10.2019).

АО «РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.Г. ХЛОПИНА»

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО И ВЫСОКОЭКОЛОГИЧНОГО ПОИСКА УГЛЕВОДОРОДОВ НА КОНТИНЕНТАЛЬНОМ ШЕЛЬФЕ АРКТИКИ

*Авторский коллектив:
Костылев Александр Иванович,
Смирнов Игорь Валентинович,
Душин Виктор Николаевич,
Якубович Ольга Валентиновна.*

ВВЕДЕНИЕ

Суровые климатические условия долгое время не позволяли осваивать и исследовать Арктику в достаточной степени для развития инфраструктуры и использования ее ресурсов. Изучение этого региона, сопровождение присутствия человека, использование необходимых технологий и средств, позволяющих расширить представления об Арктике, требуют высоких экономических затрат. Ввиду развития строительства мощных атомных ледоколов, такие работы стали возможны.

Арктика является малоизученной, труднодоступной и хрупкой экосистемой. Поэтому существует необходимость развития новых методов и подходов для изучения этих обширных территорий с привлечением современных технологий, который позволили бы существенно повысить эффективность геолого-съёмочных работ, а также ответить на ряд важных научных вопросов о скорости миграции химических элементов в придонных и поверхностных водах арктических морей, скорости эманации углеводородов и их потенциальной связи с изменением климата.

В данной работе мы предлагаем рационализаторское решение о том, как привлечение методов изотопной геохимии благородных газов может помочь существенно повысить информативность и эффективность проводимых поисковых работ, тем самым существенно снизив общие затраты на изучение этого региона. Предлагаемый подход основывается на опыте Радиевого института по изучению изотопных аномалий в глубоководных районах аварий подводных лодок (ПЛ «Комсомолец», ПЛ «Курск»), а также на современных знаниях по геохимии изотопов благородных газов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Идея изучения геологического строения и поиска месторождений с использованием изотопов благородных газов не нова. Гелиевая съёмка широко использовалась в середине прошлого века для поиска и разведки урановых руд, для выявления зон повышенной трещиноватости и оконтуривания полей залежей углеводородов на континенте [5]. Однако у этого метода был ряд очевидных ограничений, в первую очередь связанных с тем, что измерялся не изотопный состав гелия, а только его концентрация. В результате метод был очень чувствительным к особенностям пробоотбора, что приводило к появлению дополнительных ложных аномалий. Развитие альтернативных методов геохимических поисков на суше, завершение региональных этапов геолого-разведывательных работ на континенте привело к тому, что сейчас этот метод намного менее популярен, чем был когда-то. Тем не менее интерес к таким работам остается до сих пор, и не только в пределах нашей страны [1].

В последние годы изотопы благородных газов становятся все более и более популярны в мире для решения задач нефтяной геологии. В настоящее время изотопный состав гелия, аргона, и других газов используются для реконструкций особенностей миграции углеводородов, определения источников CO₂ в смешанных газах и для решения ряда других задач [8]. Такие работы ведутся в ведущих университетах мира (Manchester Uni, Cambridge Uni), а также в научных отделах крупных нефтедобывающих компаний (Total).

В целом исследования благородных газов зарекомендовали себя как отличный способ изучения динамики природных систем, определения источ-



Рис. 1. Схематическое изображение изотопных аномалий благородных газов в придонных водах [2].

ников вещества, реконструкции условий и скоростей миграции газов и вод, взаимодействия системы океан-атмосфера [7, 9, 11 и др.].

РАЦИОНАЛИЗАТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ

Несмотря на то, что в целом гелиевая съемка неплохо себя зарекомендовала, применение этого метода as is для изучения арктического шельфа нецелесообразно. Концентрация гелия в воде зависит от большого количества факторов, таких как температура, соленость, химический состав растворенных газов. Поэтому предлагаемое нами решение строится именно на измерении изотопного состава благородных газов в придонных водах, и именно в таком виде полученные данные будут максимально информативны. Наша уверенность в том, что такой подход является оправданным основывается на огромном опыте, собранном отечественными геологами при проведении масштабных работ по гелиевому мониторингу на континенте.

Концентрация гелия и других благородных газов в водах мирового океана существенно ниже, чем в атмосфере, и контролируется их равновесной растворимостью, которая зависит от температуры и солености [10]. Изотоп гелия ^3He чуть больше растворим в воде, что приводит к легкому сдвигу изотопного состава гелия в воде относительно воздушного (коэффициент изотопного фракционирования $\alpha \approx 0.983$) [6].

Природные газы, как правило, обогащены благородными газами с сильно радиогенным изотопным составом [4]. Ввиду своей высокой подвижности ^4He , ^{21}Ne и др. мигрируют в придонные воды и образуют в них изотопные аномалии. Химическая инертность благородных газов исключает их сорбцию в придонных осадках даже при очень низких температурах. А высокие миграционные характеристики создают геохимический ареал рассеивания даже при отсутствии водной конвекции.

Регистрация изотопных аномалий в подводных условиях значительно проще чем в приповерхностных, так как фоновые концентрации благородных газов существенно ниже. Отклонение отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ в сторону более радиогенную, свидетельствует о зоне разгрузки «коровых» газов. Сдвиг изотопного отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в сторону обогащения изотопом ^3He свидетельствует о наличии глубинных разломов и связанной с ними возможной гидротермальной активностью (рис. 1).

ТЕХНОЛОГИЯ

Предприятия ГК Росатом имеют необходимый научный и технический потенциал развития методов изотопной геохимии до уровня практического применения. В качестве опыта подобного рода – анализ сверхмалых количеств изотопов в морской акватории – можно привести работы Радиевого института по обследованию глубоководного района аварии ПЛ «Комсомолец» и ПЛ «Курск», где удалось разработать методики отбора проб со дна океана и определить содержание радионуклидов в придонном слое на уровне десятых долей беккереля, работы по контролю содержания следов радиоактивных изотопов благородных газов в воздухе с целью контроля ядерных испытаний (система ARIX), обследования акватории Карского и Баренцева морей.

Регистрация изотопных аномалий БГ в воде может быть осуществлена с использованием масс-спектрометрических комплексов высокого разрешения (например, Helix SFT, Thermo Scientific) по стандартным методикам. Количество воды необходимое для такого анализа не превышает 500 мл.

Освоенные методики и принципы детектирования сверхмалых количеств изотопов и радионуклидов при мониторинге морских акваторий могут быть развиты, и применены для анализа изотопного состава благородных газов в водах Арктики с целью поиска природных залежей и долговременного прогнозирования процессов циркуляции водных масс и глубинных процессов на морском дне.

ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

Оснастить судно, проводящее другие исследования в Арктике, системой пробоотбора воды для анализа БГ, сделанной на основе существующих систем пробоотбора глубинных проб вод и установки ARIX,

и осуществить отбор проб по пути его следования. Провести измерение изотопных аномалий в отобранных пробах в лаборатории и построить карту геохимических аномалий изотопного состава БГ.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведение таких работ в Арктике позволит решить ряд научных и научно-технологических задач. Полученная карта изотопно-геохимических аномалий изотопов БГ важна не только для повышения эффективности дальнейших геолого-разведывательных работ, но и для понимания структур глубинных течений, скорости миграции изотопов БГ в глубинных водах (маркер скорости распространения загрязнений, в том числе радиационных) и особенностях дегазации осадочных пород на шельфе, а также прогнозирования возможных выбросов углеводородов в систему океан-атмосфера, связанных с этим изменением климата, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций в регионе.

Изотопная масс-спектрометрия благородных газов относится к высокотехнологичным методам анализа вещества. Химическая инертность благородных газов делает методы, основанные на их анализе, одними из самых чувствительных и природосберегающих, что является большим плюсом развития такого подхода для изучения хрупких арктических экосистем.

Экономическую значимость результатов таких работ сложно недооценить, так как результаты этих работ напрямую связаны с понижением общих затрат на поиск месторождений полезных ископаемых на шельфе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальная геология. 2019 г. URL: <http://www.actualgeology.ru/services/218/> (Последнее обращение: 28.08.2020 г.).
2. Костылев А.И., Смирнов И.В., Душин В.Н., Мазгунова В.А., Ярмийчук С.В., Якубович О.В. (2020) Изотопная геохимия для поиска углеводородов на шельфе Арктики. // дел. ж. neftegaz.ru (Москва). 2019 г. №1 (97). – С. 32-34.
3. Мамырин Б. А., Толстихин И. Н. Изотопы гелия в природе – М.: Изд-во Энергоиздат, 1981 г. – 222 с.
4. Якуцени В. П. Геология гелия. – Л.: Недра, 1968 г. – 232 с.
5. Яницкий И. Н. Гелиевая съемка. – Л.: Недра, 1979 г. – 96 с.

6. Benson, B.B., Krause D. *Isotopic fractionation of helium during solution: A probe for the liquid state.* // J.: *Solution Chem.* 1980. №9. – P. 895-909.
7. Danabalan, D. *Helium: Exploration Methodology for a Strategic Resource: Doctoral dissertation, Durham University.* 2017. – 295 p.
8. DINGUE: *Abstract book / ed. Busemann H., Reibe M., Furi E., Mantel D. ETH Zurich, 2019.* – 56 p.
9. Schlosser P., Winckler G. *Noble gases in ocean waters and sediments.* // J.: *Mineralogy and geochemistry*, 2002. № 47(1). – P. 701-730.
10. Weiss R.F. *Solubility of helium and neon in water and seawater.* // J.: *Chem Eng Data*, 1971. № 16. – P. 235-241.
11. Zhang W., Li Y., Zhao F., Han W., Zhou J., Holland G., Zhou Z. (2019). *Quantifying the helium and hydrocarbon accumulation processes using noble gases in the North Qaidam Basin, China.* // J.: *Chemical Geology*, 2019. № 525. – P. 368-379.

ЛАУРЕАТЫ ВТОРОЙ ПРЕМИИ



ООО «ТЕРМОЛАЗЕР»

ИННОВАЦИОННАЯ РАЗРАБОТКА – КОМПЛЕКС ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В АРКТИКЕ

*Авторский коллектив:
Чухланцев Дмитрий Олегович,
Умнов Владимир Павлович.*

В последние годы существенно вырос промышленный интерес к полезным ископаемым на территории Арктики. Ведутся активные разведывательные и исследовательские работы, направленные на повышение доли углеводородов, добываемых на арктическом шельфе. В результате поисково-разведочных работ на континентальном шельфе России установлено, что недра почти всех северных морей (за исключением Белого моря) перспективны по запасам нефти и газа, а открытые месторождения обеспечивают создание новых газонефте-добывающих районов. Основная масса потенциальных запасов углеводородов размещается на шельфе замерзающих арктических и дальневосточных морей (рис. 1).

Все это приводит к повышенной нагрузке на экосистему Арктики – повышается риск утечки нефтепродуктов, загрязняется окружающая среда, многие эндемические виды животных уже оказались под угрозой вымирания. При этом специфика нефтедобывающей промышленности подразумевает регулярные утечки, которые в обычных условиях не представляют серьезной опасности и быстро ликвидируются.

Утечки нефти и нефтепродуктов происходят вследствие аварий на нефтепроводах, гибели танкеров и промывки их цистерн, аварий на буровых. По данным мониторинга Росприроднадзора, в 2019 г. в России было зарегистрировано 819 случаев разлива нефти на общей площади 93,6 га. 3 июня 2020 г.



Рис. 1. Нефтяная скважина в Арктике.

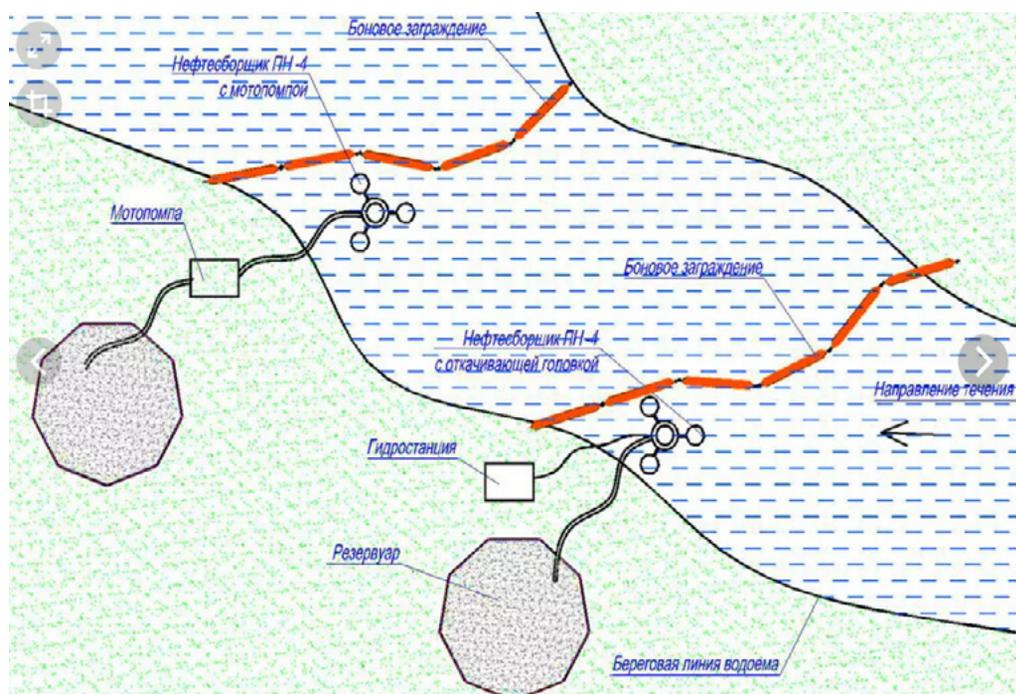


Рис. 2. Откачка разлива нефтепродуктов мотопомпами.

президент РФ Владимир Путин согласился с предложением главы МЧС Евгения Зиничева признать чрезвычайной ситуацией федерального характера произошедший в Норильске разлив 20 тыс. тонн топлива. Нефть является продуктом длительного распада и очень быстро покрывает по-верхность воды плотным слоем нефтяной пленки, препятствующей проникновению воздуха и света. Через 10 минут после попадания нефти в воду толщина нефтяного пятна составляет 10 мм и с течением времени 1мм. Один литр нефти лишает кислорода 40 тысяч литров воды. Одна тонна разлитой на воде нефти загрязняет 12 квадратных километров её поверхности. Содержание в воде нефтепродуктов выше 0,1мг/л придает мясу рыб неустраняемый привкус и специфический запах нефти. Быстрое и эффективное устранение разливов нефти и нефтепродуктов, в частности в арктической зоне, является важнейшей и общемировой задачей. На решение этой задачи направлено Постановление правительства РФ от 14 ноября 2014 года №1189 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации».

Особенностями арктической зоны России являются:

- экстремальные природно-климатические условия (включая постоянный ледовый покров или дрейфующие льды в арктических морях);
- низкая устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие и климат Земли, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий;
- климат арктических пустынь чрезвычайно суров, с сильными ветрами, небольшим количеством осадков, очень низкими температурами (средняя температура даже самого тёплого месяца близка к 0 °С);
- снежный покров на суше держится почти круглый год, сходя лишь на месяц-полтора;
- долгие полярные дни и ночи, длящиеся по пять месяцев.

Перечисленные климатические условия приводят к быстрому износу оборудования с дальнейшим разливом нефтепродуктов по прилегающей территории и ее уносом морским течением. Старые заброшенные скважины вносят свою лепту в разрушение весьма хрупкой арктической экосистемы. В настоящий момент экологическая ситуация в Заполярье и прилегающих территориях (включая Аляску, Чукотку и Западную Гренландию) оценивается

как очень проблемная. Любое из перечисленных выше условий является фактором повышения рисков значительных аварийных разливов нефти и способно привести к снижению эффективности мероприятий по ликвидации разлива.

Высокоэффективным и всесезонным методом ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов является механический метод с использованием откачки мотопомпами в резервуары или сбора скиммерами на поверхности, ограниченной бонами (рис. 2).

Механический метод является экологически чистым. Дополнительно к нему используется специальный сорбент для ликвидации разливов нефти – так называемые нефтесобирающие вещества. Они увеличивают толщину нефтяной пленки, уплотняют ее и постепенно абсорбируют, формируя гидрофобные среды, легко поддающиеся механическому сбору и утилизации (рис. 3).

В тоже время таким методом можно собрать разлив только с чистой водной поверхности без наличия льдин и до 95% (тонкая пленка остается). Поэтому механический метод нельзя считать абсолютно лучшим для Арктики.

При толщине пленки более 3 мм возможно использование термического метода её сжигания. Сжигание на месте может рассматриваться как одна из контрмер для удаления нефтяных пятен. В случае с большим количеством проталин, разбросанных на большой территории, для воспламенения отдельных нефтяных пятен можно применять вертолеты с воспламенителями. На небольших территориях могут применяться способы ручного воспламенения. Нефть, разлитая на поверхности льда и смешавшаяся со снегом, может успешно сжигаться в сугробах даже в условиях арктической зимы. Загрязненная нефтью снежная масса, доля снега в которой достигает 70%, может сжигаться на месте. Для смесей с более низким содержанием нефти для инициации горения могут использоваться катализаторы, такие как дизельное топливо или свежая сырая нефть. Для еще более разжиженных смесей нефти в снегу целесообразно сгребать загрязненный нефтью снег в сугробы, пока нефть не сконцентрируется до уровня, допускающего успешное воспламенение и сжигание. В тоже время полное сжигание слоев толщиной менее 3 мм невозможно и продукты сгорания, содержащие стойкие канцерогенные вещества, сильно загрязняют атмосферу.



Рис. 3. Сбор разлива нефтепродуктов с судов.

При невозможности применения механического метода и при малой толщине пленки применяются химреагенты, разбрызгиваемые с вертолета или самолета, многократно ускоряющие природное эмульгирование нефти в море под воздействием волнения и течений и поглощение ее сорбентами. Однако возникает проблема утилизации отработанных сорбентов, содержащих нефть. Регенерация такого вида отходов становится практически невозможной из-за больших материальных и энергетических затрат на осуществление данного процесса. Кроме того, в сорбируемой нефти могут содержаться ядовитые компоненты, приносящие вред не только окружающей среде, но и металлическим конструкциям портовых сооружений и корпусам судов, усиливая коррозионные процессы. Следует отметить, что в России пока отсутствует нормативный документ, определяющий условия сжигания нефти на месте разлива) и применения диспергаторов (хотя в России использовать их в ледовых условиях Арктики не рекомендуется).

Эффективным методом ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов является использование биопрепаратов на основе различных видов микроорганизмов. Этот метод основан на внедрении в загрязненный водный объект активных микроорганизмов-деструкторов, что позволяет не только проводить эффективную очистку от нефтяных загрязнений, но и стимулировать восстановление естественных процессов самоочистки экосистемы. Недостатком данного метода очистки нефтезагрязненных вод можно назвать низкую эффективность применения углеводородокисляющих биопрепа-

ратов при ликвидации крупных разливах нефти и нефтепродуктов, при которых толщина нефтяной пленки на водной поверхности составляет более 1 мм, а низкие температуры не позволяют его использовать в Арктике.

В качестве эффективного метода можно использовать лазерное излучение с длиной волны 10,6 мкм. Оно относительно слабо поглощается нефтью и нефтепродуктами, но сильно поглощается водой. Механизм метода лазерной очистки заключается в следующем. Лазерное излучение с длиной волны 10,6 мкм сильнее всего поглощается тонким слоем воды, который непосредственно примыкает к нефтяной пленке, поэтому вода в этом слое быстро нагревается и переходит в устойчивое состояние. Происходит парообразующий взрыв перегретой воды и разрывается ее тепловой контакт с нефтью, который препятствует горению нефтяной пленки в обычных условиях. Капли нефти подбрасываются вверх, на высоту 30–40 см, смешиваются с атмосферным воздухом и образуют горючую смесь, которая самовоспламеняется, то есть капли нефтяного загрязнения сгорают в воздухе. Таким способом можно эффективно и быстро удалять нефтесодержащие пленки практически любого состава и толщины. Лазерный способ очистки может быть с успехом использован на завершающей стадии обработки поверхности нефтяного разли-

ва после применения механического или химического способов сбора толстых пленок.

Сравнительный анализ приведенных методов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Арктики показывает следующее:

- наиболее эффективным и экологически чистым методом ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов в Арктике является механический метод, позволяющий в первые часы после разлива собрать наибольшую долю разлитого нефтепродукта;
- недостаток, связанный с движением пятна разлива, огражденного бонами, под действием ветра всегда можно контролировать и следовать за ним на плав средстве, на котором находится оборудование для сбора нефтепродуктов;
- главный недостаток метода резкое снижение его эффективности при малой толщине пленки (менее одного миллиметра);
- задачу качественной ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов можно решить применением комбинированного механико-лазерного метода, при котором механическим способом собирается основная часть разлива с водной поверхности и с поверхности льдин в зоне, огражденной бонами или со сплошного ледяного покрова, а лазером выжигается оставшаяся часть разлива с воды и (или) льда с фильтрацией образующегося дыма.

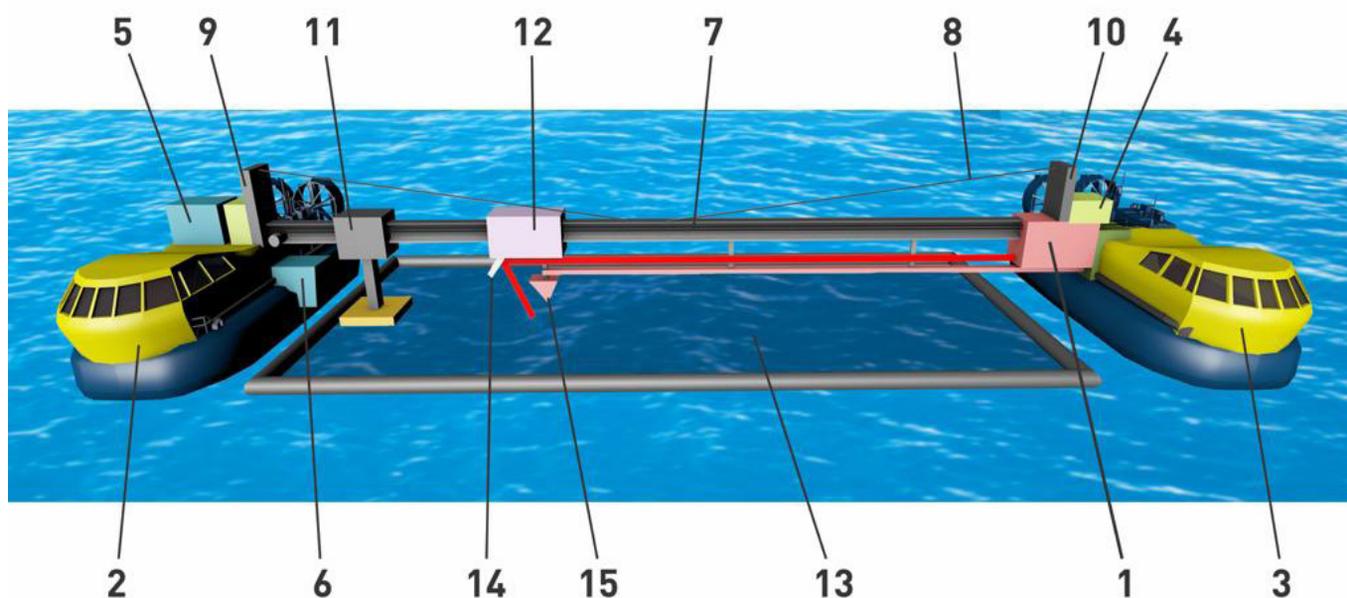


Рис. 4. Структура комплекса ликвидации нефти и нефтепродуктов в Арктике.

Для реализации метода предлагается комплекс, состоящий из двух судов 1 и 2 (рис. 4) на воздушной подушке, адаптированных для работы в Арктике.

Суда на воздушной подушке способны перемещаться над сушей (берегом), над ледяным покровом и над поверхностью воды, не создавая на низкой скорости значительных волнений её поверхности. Это предопределяет высокую эффективность их использования в качестве транспортного средства в процессе ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов в условиях Арктики. На одном из судов (1) располагается источник лазерного излучения (3) мощностью до 42 кВт и апертурой излучения до 500 мм с охлаждением морской водой, а также промышленный фильтр (4) для сбора дыма от сжигаемой лазером 3 тонкой пленки. На другом судне (2) располагается дизельный электрогенератор (5) для питания лазера и ёмкость (6) для собранной механически нефти или нефтепродукта. Суда шарнирно связаны между собой сборным алюминиевым двутавром (7) большого габарита длиной до 100 метров с тросовыми растяжками (8), которые связывают двутавр с вертикальными стойками (9) и (10), располагаемыми на судах и предотвращают недопустимый прогиб сборного двутавра. Одна из опор двутавра, расположенная на судне (1) выполнена в виде шарнира Гука с возможностью поворота вокруг вертикальной оси и горизонтальной оси, ортогональной оси сборного двутавра. Вторая опора, располагаемая на судне (2) дополнительно к шарниру Гука допускает возможность линейного

перемещения двутавра относительно корпуса судна (2). Такое выполнение опор обеспечивает устойчивое положение двутавра и исключает избыточные кинематические связи между судами. На двутавре расположены две подвижные каретки (11) и (12), перемещаемые приводами и по направляющим двутавра. Приводы кареток располагаются на палубе судов и перемещают каретки замкнутыми передачами гибким органом (тросовыми или зубчатым ремнем). В качестве приводов целесообразно использовать мотор-редукторы с асинхронными двигателями и червячными передачами и частотные преобразователи. При этом для компонентов приводов при низких температурах целесообразно использовать подогрев. На каретке (11) располагаются сменные устройства механического сбора пленки (13), а на другой каретке (12) отражающее зеркало (14) для направления лазерного луча от лазера на поверхность воды или льда и зонд (15) с насосом для улавливания продуктов сгорания пленки и их транспортировки к фильтру. Угол направления луча на поверхность не существенно влияет на качество выполнения процесса. Поэтому влияние волнения водной поверхности и определенная несинхронность движения судов не существенно повлияют на качество выполняемого процесса. Подвижные каретки располагаются от поверхности сбора разлива на расстоянии 3-3,5 метра. Для механического сбора могут использоваться широкозахватные улавливатели пленки с поверхности воды и скребки для удаления разлива с поверхности льда. Система

Таблица 1.

№ п/п	КОМПОНЕНТ	ПАРАМЕТРЫ
1	Суда на воздушной подушке Хивус – 48 («Аэроход» Н.-Новгород) с необходимой доработкой	Полезная грузоподъемность – 5,5т Температура работы -35+40 град.С
2	Лазерный источник (Оригинальный. Производство ООО «Термолазер»)	Мощность излучения 42 кВт
3	Дымофильтр ПВФ-2000	Производительность 2000 м ³ /час
4	Дизельный генератор ТТД 605TSCG	Мощность 440 кВт Масса 1,8 т
5	Приводы перемещения кареток мотор – редуктор NMRV 090-40-35-1,5	Мощность 1,5 кВт

управления комплексом и обслуживающий персонал располагаются в специальной отапливаемой каюте. Комплекс оснащен необходимыми средствами сигнализации о нештатных ситуациях и диагностики работы оборудования.

Работа комплекса осуществляется следующим образом. С использованием одного из судов комплекса устанавливается боновое ограждение. После этого с помощью дополнительного подъёмного механизма собирается двутавр и устанавливается на суда на суше или льдине вблизи с пятном разлива нефти или нефтепродукта, а его компоненты доставляются к месту сборки вертолетом или вспомогательным судном. В зону очистки вводится каретка с устройствами механического сбора пленки и процесс осуществляется в режиме дистанционного управления оператором с синхронизацией движения судов. Собранный механически материал периодически откачивается в дополнительную ёмкость. После механического сбора каретка (11) выводится из зоны работы, вводится каретка (12) и происходит процесс лазерной обработки. Скорость перемещения лазерного пятна по поверхности до

1 м/с. Ориентировочное время полной ликвидации пятна площадью 10 000 м² при двойном проходе лазером – 20 часов. В таблице 1 приведены основные компоненты комплекса и их некоторые параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семанов Г.Н «Разливы нефти в море и обеспечение готовности к реагированию на них», / www.securpress.ru, 2005 г.
2. Pavlenko V. "Oil spills – risk management and decision support system", report the Council Russia-NATO, Brussels, NATO headquarters, 2008.
3. mchsmmedia.ru/folder/50518/item/5381396/.
4. March. Brandvik, PJ, S rheim, KR, Singasaas, I, and Reed, M (2006). Short State-of-the-Art Report on Oil Spills in Ice
5. Хаустов, А. П. Охрана окружающей среды при добыче нефти/ Хаустов, А. П., Редина, М. М. Издательство: «Дело», 2006. 552 с.
6. Алекперов, В.Ю. Нефть России: прошлое, настоящее и будущее /Алекперов В.Ю. М.: Креативная экономика, 2011. – 432 с.

ООО «ТНГ-ГРУПП»

ТЕХНОЛОГИЯ ЯМР-ИССЛЕДОВАНИЙ КЕРНА НА СКВАЖИНЕ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА ЯМР-КАРОТАЖА В УСЛОВИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ДАННЫМ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЯМР-КЕРН ИНТЕРВАЛОВ ДЛЯ ОПРОБОВАНИЯ ПЛАСТОВ И ПЕРФОРАЦИИ

Авторский коллектив:

*Мурзакаев Владислав Маркович,
Белоусова Наталья Николаевна,
Брагин Алексей Викторович,
Скирда Владимир Дмитриевич,
Александров Артем Сергеевич,
Иванов Дмитрий Сергеевич,
Дорогиницкий Михаил Михайлович.*

ООО «ТНГ-Групп» – одна из ведущих нефтесервисных компаний с более чем шестидесятилетней историей. В настоящее время ООО «ТНГ-Групп» – это предприятие, интегрировавшее в своей структуре комплекс промысловых, геологоразведочных и научно-производственных подразделений, работающих практически во всех нефтегазодобывающих регионах России, а также в странах дальнего и ближнего зарубежья. Компания оказывает весь комплекс услуг по геофизическому сопровождению строительства разведочных, поисковых и эксплуатационных скважин, вторичному вскрытию пластов, сейсморазведке 2D, 3D, 3D-3C, электро-, грави-, магниторазведке, аэрокосмическому дешифрированию, геохимическим исследованиям, обработке геолого-геофизической информации, решает задачи в области вертикального сейсмического профилирования, информационно-технологическое сопровождение (MWD, LWD). В составе ООО «ТНГ-Групп» имеется научно-техническое управление, которое занимается разработкой и внедрением новых приборов, технологий, методик для геофизических исследований скважин.

В настоящее время внимание специалистов нефтегазовой промышленности все больше обращено к ресурсам нефти и газа, заключенным в сложных, с геологической точки зрения, объектах. В сложных геолого-технологических условиях, при разбурировании слабо консолидированных пород, интервалов с напряженным состоянием нередко возникают осложнения в стволе скважины, что приводит к невыполнению комплекса ГИС. Также

существуют сложности при проведении каротажа, и ЯМК в том числе, в высокотемпературных и наклонных скважинах (отсутствие соответствующей аппаратуры). В этих условиях существенно повышается значимость оперативных профильных исследований керна. Для решения данных проблем в рамках работ по договору с Министерством образования 2010-2012 годы совместно ООО «ТНГ-Групп» и Казанским Федеральным Университетом была разработана мобильная установка ЯМР-Керн для получения информации о фильтрационно-емкостных свойствах и оценки характера насыщения по анализу двумерного распределения времен релаксации полноразмерного свежевыбуренного керна непосредственно на скважине без предварительной подготовки керна к исследованиям. Эффективность установки была проверена на более чем 1600м полноразмерного керна.

Особенностями данной установки являются: мобильность, установка может быть доставлена непосредственно на буровую; оперативность, на экран компьютера в режиме реального времени выводятся общая флюидонасыщенная пористость с разделением на свободный (подвижный) и связанный флюид; высокая разрешающая способность, сканирование керна выполняется с шагом 1-2см; возможность оценки характера насыщения породы по анализу двумерного распределения времен релаксации и коэффициента диффузии.

Рис. 1 наглядно иллюстрирует возможности технологии исследования керна на скважине с тонкосо-

истым разрезом методом ЯМР. Скважинные NMR-исследования выполнены со стандартным шагом дискретизации 0.125м, а исследования керна на мобильной установке ЯМР-Керн проведены с шагом 0.02м. То есть на 1 метр исследованного разреза приходится 8 точек (значений) пористости NMR-каротажа и 50 точек (значений) по ЯМР-Керн. Сравнивая замеры ЯМК в скважине и ЯМР-Керн можно отметить, что границы по ЯМР-Керн отбиваются более четко, тогда как по данным ЯМК они сильно растянуты. По данным ЯМК плохо отбиваются пласты менее

0.6-1м. В целом границы по данным скважинных исследований более размыты (растянуты). В таких случаях результаты ЯМР-Керн более информативны и достоверны. Сравнение K_p ЯМР-Керн с пористостью по плотностному каротажу и пористостью образцов показывает хорошую сходимость по величине, но более высокое вертикальное разрешение. В таких условиях исследования на керне позволят выбрать глубины для выполнения замеров в режиме 2D как на керне, так и в стволе скважины и более корректно наметить глубины для отбора проб (MDT).

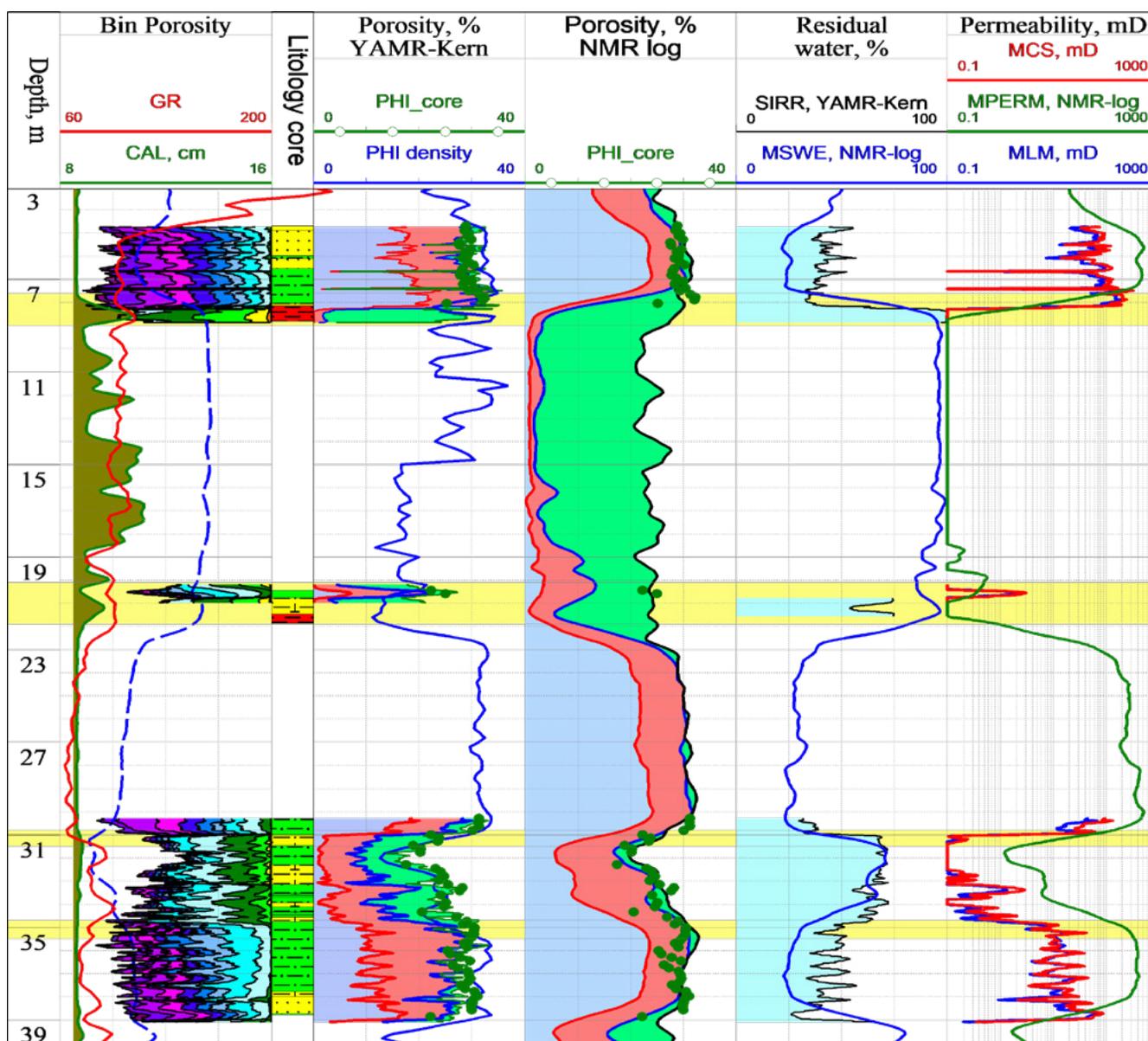


Рис. 1. Сопоставление результатов исследования мобильной установкой ЯМР-Керн с данными ГИС открытого ствола и пористостью стандартных образцов керна. М1:200..

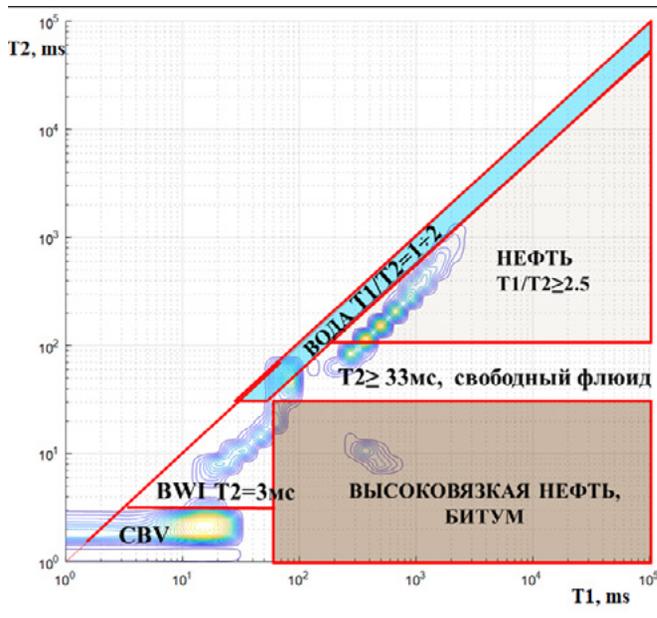


Рис. 2. Пример 2D-карты T1-T2.

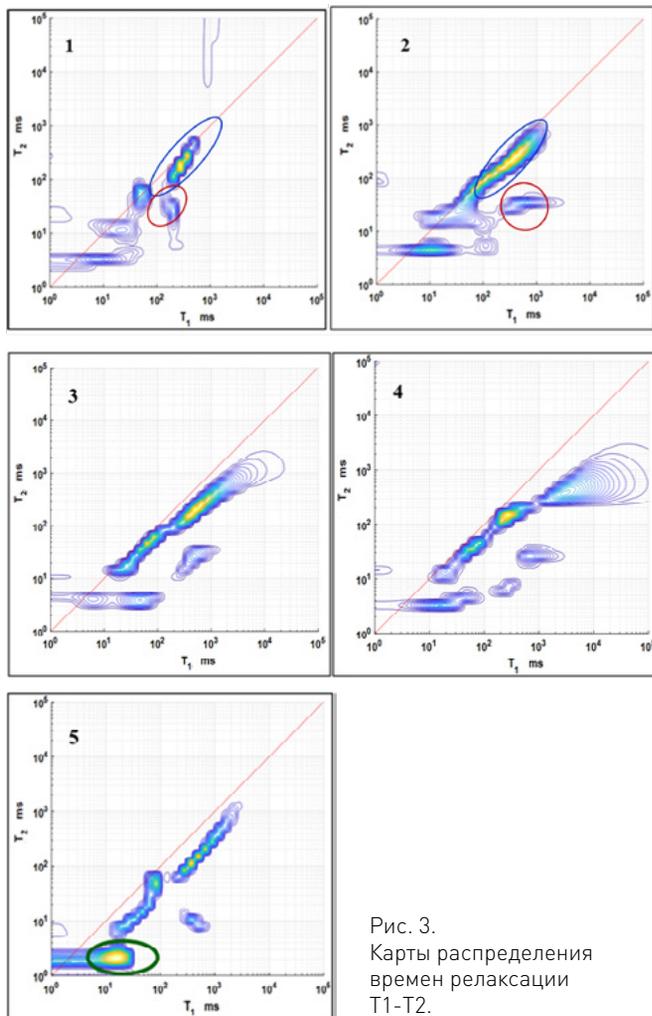


Рис. 3. Карты распределения времен релаксации T1-T2.

В ряде случаев, при невозможности провести ядерно-магнитный каротаж в скважине по геологическим или техническим условиям замер на керне позволит избежать потери информации, поскольку выдаваемые результаты идентичны.

К преимуществам исследований полноразмерного керна мобильной установкой ЯМР-Керн также можно отнести и то, что исследования и обработка выполняются в достаточно короткие сроки. Отсутствует необходимость в предварительной подготовке образцов, так как измерения проводятся на пластовом флюиде. А в процессе вырезки, чистки, сушки цилиндрических образцов могут изменить смачиваемость, что делает их нерепрезентативными относительно скважинных условий.

В последнее время для типизации флюидов в поровом пространстве горных пород-коллекторов активно используются методы исследования совместного распределения времён спин-спиновой и спин-решёточной релаксации (T_2-T_1) (1). Обзоры применения этих методов для геофизических исследований скважин приведены в работах (2).

В мобильной установке ЯМР-Керн реализован специальный режим измерений для оценки насыщенности флюидом порового пространства. При этом производятся замеры на точках, в результате обработки которых строятся 2D (двумерные) карты распределения $\rho(T_1, T_2)$.

На рис. 2 приведен пример исследования керна на месторождении КНР и анализа 2D-карты распределения времен релаксации T1-T2 с вынесенными границами разделения флюида по типу и степени подвижности, принятыми на основании предоставленной Заказчиком геологическо-геофизической информации и по результатам тестовых замеров на пробах нефти и бурового раствора. На рис. 3 представлены 2D-карты и проведен их анализ на основе границ рис. 2, результаты их интерпретации приведены в таблице 1.

Для точек исследования 1, 2 отношение времен $T1/T2 \leq 2$, основная часть сигнала ложится на границу между нефтью и водой, в зоне подвижного флюида. Породы охарактеризованы, как водонасыщенные (зона в синем контуре). Пики (пятна), выделенный красным, возможно обусловлены присутствием следов нефти в породе. Пики (пятна) в зоне капиллярно-связанной воды могут быть сигналом от бурового раствора. Основной сигнал точек исследований 3 и 5

Таблица 1. Интерпретация 2D-карт.

№ замера	Тип флюида по данным ЯМР-Керн	Описание керна
1	Вода + бур. раствор	Алевролит глинистый с пятнами нефти
2	Вода + бур. раствор	
3	Нефть + бур. раствор	Алевролит нефтенасыщенный
4	Вода + нефть + бур. раствор	Алевролит нефтенасыщенный
5	Нефть	Песчаник нефтенасыщенный

в зоне подвижного флюида расположен в интервале времен T1-T2 с отношением 2-2.5, что соответствует сигналу от подвижной нефти. Для точки исследования 4 пик (основное пятно) лежит в принятой для данных отложений границе вода-нефть (T1/T2=2). В данном случае возможно сильное влияние бурового раствора на замер (кern при измерении был мокрым). Также при исследовании 5 получен интенсивный сигнал от глинисто-связанного флюида (зеленая зона) с T2 менее 3мс, что подтверждается и результатами исследования в режиме определения ФЕС (1D).

Методика типизации флюида по распределению времен релаксации T1-T2 опробована на большом количестве образцов, насыщенных различными типами нефтей и отобранных в разных регионах. Замеры в режиме 2D, выполненные на керне могут послужить дополнительной информацией для интерпретации каротажных данных ЯМК в режиме стационарных измерений и повысят достоверность их интерпретации, а также позволят наиболее эффективно выбрать точки для испытания пластов. Исследования, выполненные мобильной установкой ЯМР-Керн позволят скорректировать или выбрать точки (интервалы) для отбора проб, полагаясь не только на визуальное описание, но и на изменение емкостных свойств вдоль профиля керна.

Данные, выдаваемые при исследовании керна являются ценнейшим источником информации о строении нефтегазоносных разрезов, нефте-газо- и битумонасыщенности пластов, о составе и свойствах горных пород, вмещающих нефть-газ битум, определение емкостно-фильтрационных и петрофизических свойств и получения полной характеристики пластов-коллекторов, в том числе с разным типом флюидонасыщения.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Song Y.-Q., Venkataramanan L., Hürlimann M.D., Flaum M., Frulla P. and Straley C. "T1-T2 Correlation Spectra Obtained Using Fast Two-Dimensional Laplace Inversion" // *Journal of Magnetic Resonance*, v. 154, n.2, 2002, pp. 261-268.
2. Hürlimann M.D., Venkataramanan L., Flaum M., Karmonik C., Freedman R. and Heaton N. "Diffusion Editing: New NMR Measurements of Saturation and Pore Geometry" // *Transactions of the SPWLA 43rd Annual Logging Symposium, Oiso, Japan, June 2-6, 2002*.
3. Akkurt R. and others "Nuclear Magnetic Resonance Comes Out of Its Shell" // *Oilfield Review, Winter 2008-2009, n4, pp. 4-23*, Romero P.A. "NMR Fluid Typing" // *GeoNeurale*, 2015.

ООО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА»
(ООО «НИИ ТРАНСНЕФТЬ»)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТОВ ОРЕОЛОВ ОТТАИВАНИЯ И ОСАДКИ ГРУНТА
В ОСНОВАНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА С УЧЕТОМ ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ СРЕДСТВ
ОЧИСТКИ И ДИАГНОСТИКИ О ТЕМПЕРАТУРЕ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ НЕФТИ

Авторский коллектив:
Половков Сергей Алексеевич,
Коротков Алексей Александрович,
Кайнов Юрий Андреевич,
Кузнецова Ольга Викторовна.

Освоение углеводородных месторождений Крайнего Севера является стратегической задачей Российской Федерации, для решения которой требуется обеспечить в данных районах развитие инфраструктуры, в том числе ее энергетической и транспортной составляющих. Транспортировка углеводородов с месторождений Крайнего Севера потребителям производится по магистральным нефтепроводам через районы криолитозоны. ПАО «Транснефть» накоплен большой опыт в строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов (далее – МН) на участках с распространением многолетнемерзлых грунтов (далее – ММГ). Обеспечение безопасной эксплуатации объектов МН, пролегающих в этих условиях, является ключевой задачей ПАО «Транснефть».

Воздействие МН, проложенного подземным способом, на мерзлый грунт приводит к оттаиванию ММГ, что может быть причиной возникновения перемещений и деформаций МН.

Температура перекачиваемой нефти входит в состав исходных данных для проведения расчетов прогнозного состояния МН, в связи с чем достоверность информации о температуре перекачиваемой нефти имеет особую актуальность при решении задач геотехнического мониторинга, поскольку оказывает влияние на правильность принятия решений о необходимости и достаточности проведения компенсирующих мероприятий для обеспечения безопасной эксплуатации МН.

В системе ПАО «Транснефть» для получения информации о тепловом режиме перекачки используются данные измерений датчиков температуры стенки МН системы диспетчерского контро-

ля и управления (далее – СДКУ). Поскольку расстояние между датчиками СДКУ может достигать нескольких десятков километров, то производимые замеры температуры стенки трубопровода, зафиксированные этими датчиками, справедливы только для выбранных сечений.

Формула 1 представляет собой уравнение Шухова, описывающее изменение температуры нефти по длине МН и представляющее собой видоизмененное уравнение теплового баланса МН.

$$t_k = (t_n - t_0 - u) \cdot e^{-\text{Шу}} + t_0 + u$$

где: t_k – температура нефти в конце участка, °С;
 t_n – температура нефти в начале расчетного участка, °С;
 t_0 – «фоновая» температура, для подземных участков принимается температура грунта на глубине оси нефтепровода, °С;
 u – коэффициент, учитывающий нагрев нефти за счет внутреннего трения, °С
 Шу – параметр Шухова.

$$\text{Шу} = \frac{k \cdot \pi \cdot D_{\text{внутр_ст}} \cdot l}{Q \cdot \rho \cdot c_p}$$

где k – коэффициент теплопередачи от нефти в окружающую среду;
 $D_{\text{внутр_ст}}$ – внутренний диаметр трубопровода, м;
 l – длина участка, м;
 Q – объемный расход нефти на участке, м³/с;
 ρ – плотность нефти, кг/м³;
 c_p – удельная теплоемкость нефти при постоянном давлении, Дж/(кг·К).

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot D_{\text{внутр_ст}}} + \frac{R_{\text{общ}}}{2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot D_{\text{общ}}}} \quad (3)$$

где $R_{\text{общ}}$ – термическое сопротивление трубы и слоев ее изоляции, м·°С/Вт;
 α_1 – коэффициент внутренней теплоотдачи от нефти к внутренней стенке трубы, Вт/(м²·К);
 α_2 – коэффициент внешней теплоотдачи от наружной поверхности нефтепровода (с учетом тепловой изоляции при ее наличии) в атмосферу, Вт/(м²·К);
 $D_{\text{общ}}$ – диаметр трубопровода с учетом всех изоляций, м.

При проведении перекачки нефти по МН изменение ее температуры обусловлено тепловыделением за счет трения жидкости о стенки трубопровода и тепловыделением от перекачиваемой нефти в окружающую среду. Исходные данные для расчета температуры нефти по длине МН условно можно разделить на две группы: параметры, значения которых известны с достаточной точностью (реологические параметры нефти, конструктивные особенности трубопровода, параметры фактического режима перекачки) и параметры, значения которых известны с низкой точностью ввиду их изменчивости по длине МН и во времени (параметры окружающей среды:

грунтовые условия, климатические условия). Как иллюстрирует уравнение 1, температура нефти в конце расчетного участка МН (t_k) зависит от грунтовых условий: температуры грунта на глубине оси МН (t_0) и от теплофизических характеристик грунта, оказывающих влияние на интенсивность теплообмена от МН в грунт (коэффициент теплопередачи от нефти в окружающую среду k , входящий в параметр Шухова – Шу).

При проведении теплового расчета производится калибровка модели путем решения обратной задачи (сравнение расчетной температуры стенки МН с показаниями датчиков СДКУ). Как было сказано выше, поскольку расстояния между датчиками СДКУ могут достигать несколько десятков километров, то принимается гипотеза о характере распределения температуры стенки МН между датчиками СДКУ и строится аппроксимирующая функция. Возможное искажение формы фактической функции распределения температуры стенки по длине МН может привести к дальнейшим ошибкам в расчетах.

Совершенствование внутритрубных средств очистки и диагностики позволило производить измерения температуры перекачиваемой нефти в каждой секции МН с использованием датчиков измерения температуры среды, входящих в комплектацию СОД, при проведении внутритрубной диагностики.

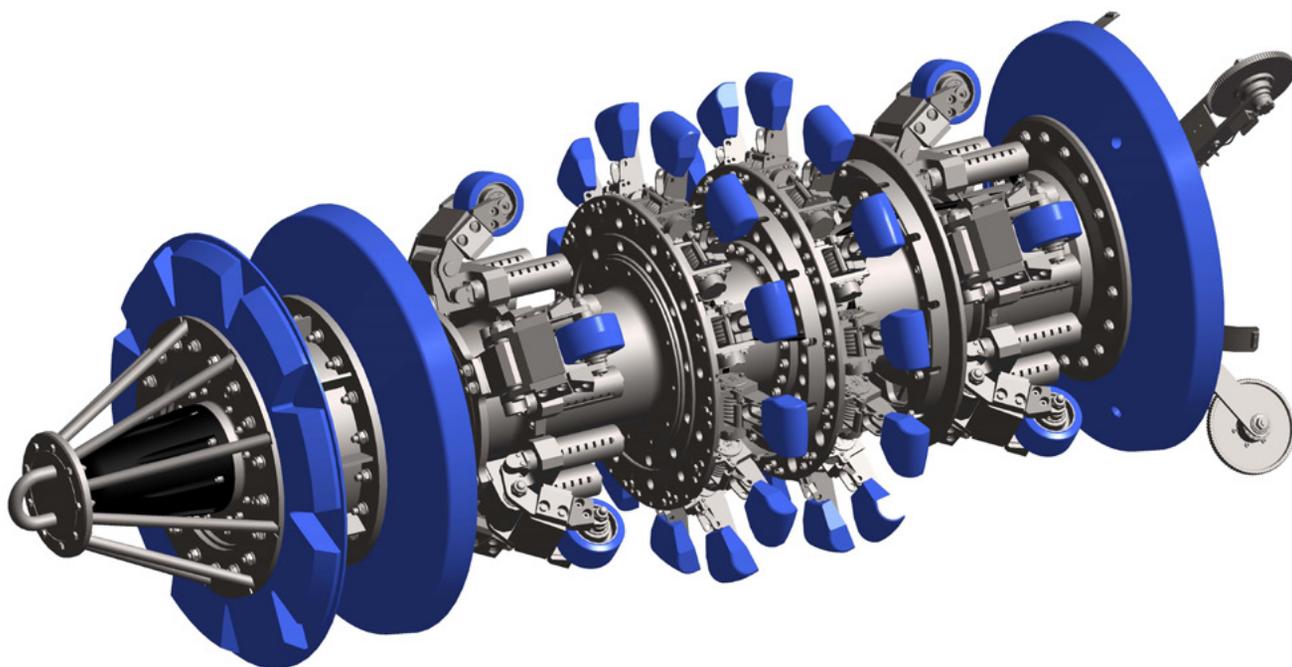


Рис. 1. Внутритрубный инспекционный прибор определения положения трубопровода (ВИП ОПТ).

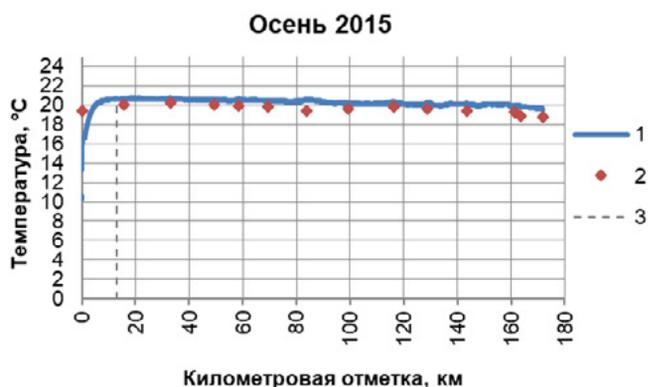


Рис. 2. Расчетные значения температуры потока, построенные для прогнозных режимов и фактические значения температуры потока, измеренные датчиком ОПТ за осенний период 2015г.



Рис. 3. Расчетные значения температуры потока, построенные для прогнозных режимов и фактические значения температуры потока, измеренные датчиком ОПТ за весенний период 2016г.



Рис. 4. Расчетные значения температуры потока, построенные для прогнозных режимов и фактические значения температуры потока, измеренные датчиком ОПТ за осенний период 2017г.

Для рис 2-4: 1 - результаты измерений температуры нефти датчиком ВИП ОПТ; 2 - результаты измерений температуры стенки МН датчиком СДКУ; 3 - граница начального участка перекачки.

Их применение позволит повысить точность прогнозных расчетов состояния МН. На рис. 1 представлен внутритрубный инспекционный прибор опреде-

ления положения трубопровода (далее – ВИП ОПТ), на котором устанавливается датчик измерения температуры среды.

Целью данной работы является исследование способов применения данных с датчиков СОД о температуре перекачиваемой нефти для повышения точности прогнозных расчетов ореолов оттаивания и осадок грунта в основании МН, а также для прочих целей геотехнического мониторинга.

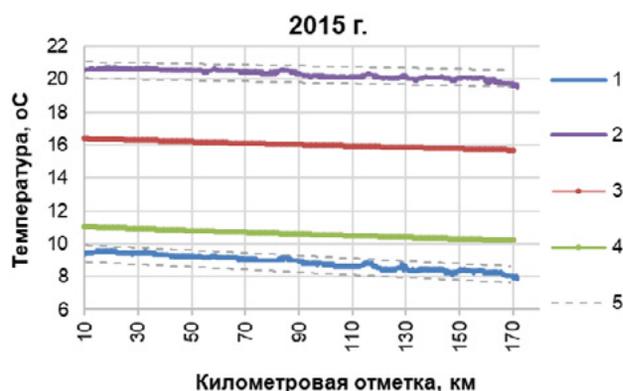
Для определения достоверности данных о температуре нефти со средств очистки и диагностики (далее – СОД), проведены испытания датчика температуры нефти, установленного на внутритрубном инспекционном приборе определения положения трубопровода (далее – датчик ОПТ) и накладного датчика температуры стенки (при проведении испытаний использовались датчики с действующими сертификатами о поверке):

- лабораторные испытания указанных датчиков в климатической камере;
- проверка сходимости показаний указанных датчиков при пропусках ВИП ОПТ на испытательном полигоне АО «Транснефть – Диаскан»;
- натурные испытания на участке трассы МН при пропусках ВИП.

На рис. 2-4 приведены графики распределения температуры нефти по данным пропусков ВИП ОПТ и температуры стенки МН по данным с датчиков СДКУ, установленных на участке МН.

По результатам проведенных лабораторных и натурных испытаний выявлена сходимость показаний датчиков СДКУ и ВИП ОПТ и установлена достоверность показаний датчика ВИП ОПТ за исключением начального участка перекачки, на котором значения, регистрируемые датчиком температуры нефти ВИП, оказывает влияние температура окружающей среды при подготовке снаряда к пропуску. Длина указанных участков по результатам пропусков ВИП ОПТ, для которых проведен анализ, составляет от 12 до 15 км.

Полученные по результатам пропусков ВИП ОПТ данные о температуре нефти позволили провести сравнительный анализ измеренных и расчетных прогнозных температур нефти, используемых при определении осадки грунта в основании МН, в результате чего выявлено их несоответствие для режима 2015 года (рис. 5, 6).



1 - результаты измерений температуры нефти датчиком ВИП ОПТ в весенний период; 2 - результаты измерений температуры нефти датчиком ВИП ОПТ в осенний период; 3 - расчетная прогнозная температура нефти для летнего режима; 4 - расчетная прогнозная температура нефти для зимнего режима; 5 - доверительный интервал.

Рис. 5. Сравнение величин расчетного значения температуры нефти и фактического значения по данным ВИП ОПТ 2015 г.

Выявленные несоответствия между расчетными и фактическими значениями температур нефти могут быть вызваны различными группами факторов, обусловленными, как было сказано выше, невозможностью их точного определения ввиду их изменчивости по длине МН и во времени: режимные факторы и факторы окружающей среды (грунтовые условия, климатические условия). Далее отдельно рассмотрим указанные факторы.

Говоря о режимных факторах, нужно отметить, что параметры фактического режима перекачки известны достаточно точно по данным с датчиков СДКУ, однако при проведении прогнозных теплотехнических расчетов в качестве исходных данных используются прогнозные грузопотоки. В дальнейшем, в случае несоответствия фактических режимов перекачки прогнозным, которые были актуальны на момент проведения расчета, результаты прогнозирования состояния МН могут быть ошибочными.

Говоря о факторах окружающей среды, можно выделить отсутствие возможности проведения калибровки модели расчета температуры стенки трубопровода на участках с отсутствием датчиков СДКУ и невозможность проведения калибровки модели МН для прогнозных режимов. В процессе эксплуатации МН происходит изменение условий теплообмена на границах «нефть – трубопровод – грунт», вызванное такими факторами, как нанесение тепловой изоляции, установка термостабилизаторов грунта, изменение теплофизических свойств грун-

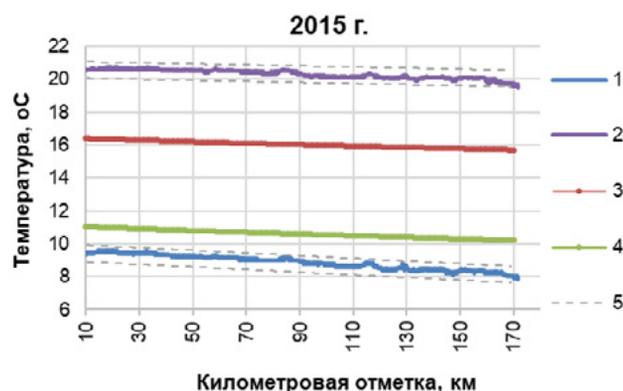


Рис. 6. Сравнение величин расчетного значения температуры нефти и фактического значения по данным ВИП ОПТ 2016 г.

тов и водного режима в результате их фазового перехода и т.д. Расчет температуры стенки МН для планируемых режимов перекачки производится для модели, откалиброванной по параметрам теплообмена, актуальным на момент проведения расчетов. Изменения условий теплообмена по трассе МН приводят к изменению теплового потока от МН в грунт, в результате чего заложенная в расчете модель теплообмена перестает соответствовать фактическим условиям на трассе, что может привести к ошибкам в тепловых расчетах. В связи с вышеуказанным, разработан критерий проверки необходимости проведения перекалибровки модели МН (рис. 7).

На рис. 8 приведены примеры аппроксимирующих функций температуры стенки МН: функция, построенная с учетом результатов измерения температуры нефти датчиком ВИП ОПТ и функция, построенная без учета данных с датчика ВИП ОПТ. Как видно из графика, температура стенки, измеренная датчиками СДКУ на 33-м км и 116-м км участка МН, превышает температуру нефти, измеренную ВИП ОПТ, что противоречит физическим процессам в системе «нефть – трубопровод – грунт». Также повышение температуры стенки МН в данных точках не подтверждается пиком в распределении температуры нефти. В связи с этим показания указанных датчиков СДКУ не должны приниматься при проведении калибровки модели МН и задании формы функции ее распределения по длине участка МН.

По результатам проведенных исследований выявлены возможные области применения результа-

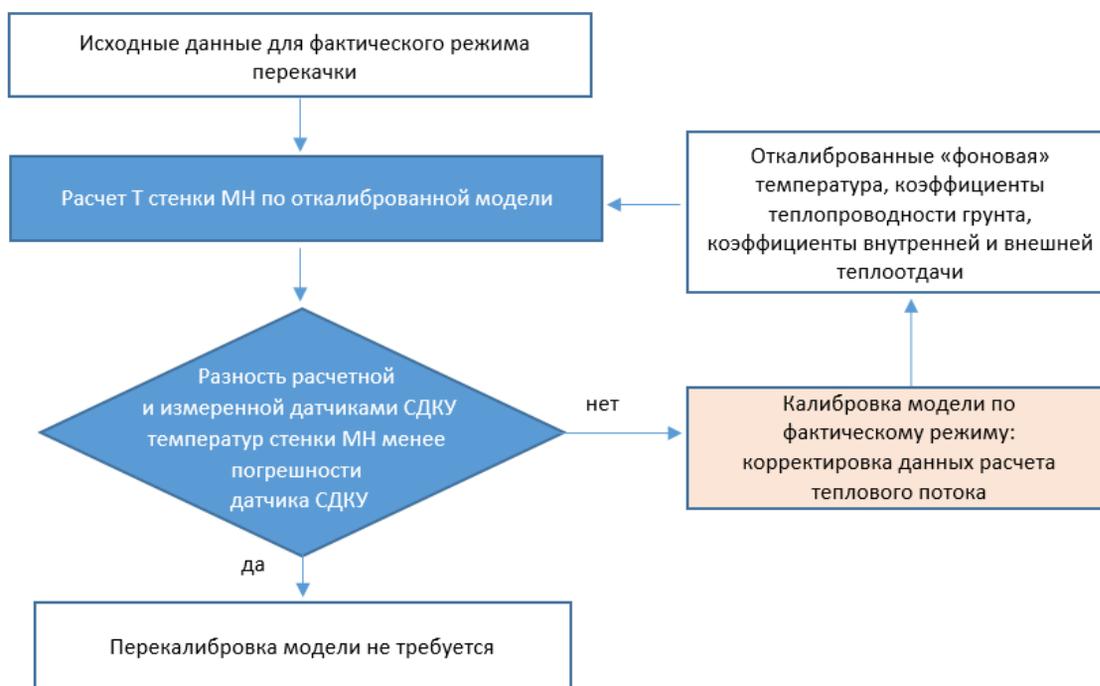


Рис. 7. Структурная схема последовательности проведения температуры стенки МН с учетом проверки соответствия модели теплового режима перекачки фактическим данным.

тов измерения температуры нефти датчиком ВИП ОПТ при осуществлении теплотехнических расчетов (рис. 8):

- определение некорректно работающих датчиков СДКУ;
- задание формы аппроксимирующей функции при проведении калибровки модели;
- получение информации о соотношении тепловых потоков на различных участках трассы.

На рис. 9 приведены графики распределения температуры нефти по длине МН для пропусков

ВИП ОПТ в период с 2015 по 2017 гг. на участке МН «ВСТО-1», построенные из одной точки, участки распространения ММГ и объемы нанесенной тепловой изоляции (далее – ТИ) на реконструируемых участках МН по годам. ТИ нанесена на участки с выявленными ранее перемещениями МН, ненормативными и уменьшающимися радиусами изгиба секций трубопровода на основании результатов прогнозных расчетов ореолов оттаивания и осадок грунта и расчетов напряженно-деформированного состояния стенки МН. Из графиков видно, что



Рис. 8. Выбор формы аппроксимирующей функции температуры стенки по длине МН.

Характер распределения температуры нефти при пропуске ВИП ОПТ в весенний период 2015, 2016 и 2017 гг.

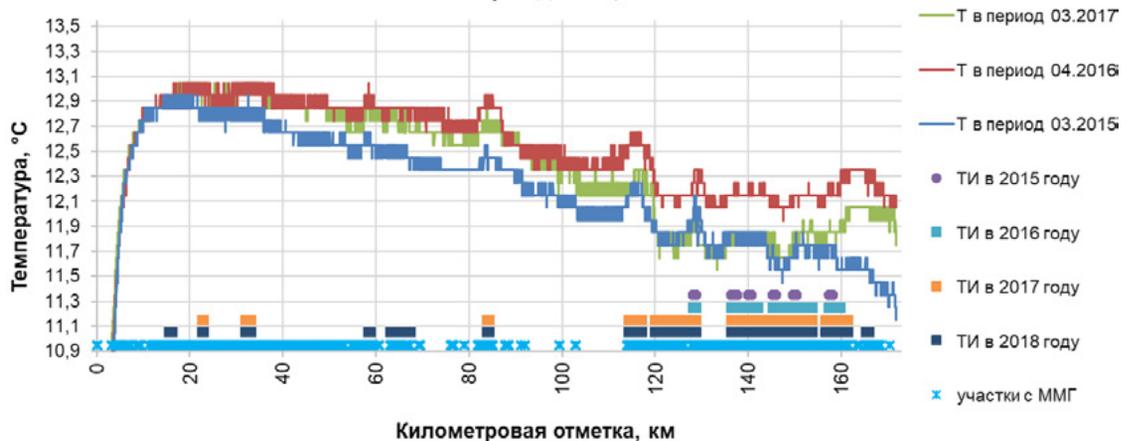


Рис. 9. Анализ зависимости объемов нанесения тепловой изоляции по годам и характера распределения температуры нефти по МН по данным пропусков ВИП ОПТ в период 2015 – 2017 гг.

участки с нанесенной ТИ соответствуют координатам расположения пиков на графиках распределения температуры нефти. Также определено, что характер распределения температуры нефти по длине МН не является случайным, т.к. форма функции указанного распределения сохраняется от пропуска к пропуску ВИП ОПТ.

Таким образом, информацию о распределении температуры нефти с датчика СОД целесообразно использовать не только при проведении теплотехнических расчетов, но и при решении других сопутствующих задач геотехнического мониторинга МН, в частности, для проведения экспресс-анализа на начальном этапе эксплуатации МН с целью выявления потенциально опасных участков трассы до обнаружения значительных изменений технического состояния МН.

Выявление потенциально опасных участков МН по данным СОД может быть основанием для проведения дополнительных геологических обследований с целью уточнения грунтовых условий, обследований по контролю планово-высотного положения МН, оценки состояния инженерных объектов и природной среды, определения необходимости установки дополнительных средств мониторинга и назначения очередности проведения прогнозных расчетов на участках МН.

В работе проведено исследование чувствительности модели расчета ореолов оттаивания, осадок грунта и напряженно-деформированного состояния трубопровода к изменению температуры его стенки. Для заданного сечения проведены прогнозные расчеты указанных характеристик при изменении

температуры стенки МН на выявленную среднюю величину расхождения расчетных температур нефти для планируемых режимов, используемых при прогнозировании состояния МН, и фактических температур, измеренных датчиком ВИП ОПТ, составляющую 2°C.

В таблице 1 представлены результаты расчета ореола оттаивания грунта в расчетном сечении при изменении температуры стенки МН на заданную величину. По результатам расчетов получено, что время достижения ореолом оттаивания подошвы слоя грунта, характеризующегося наибольшими осадками (ледогрунт), сокращается на срок 1 год 3 мес.

Графики изменения величин ореолов оттаивания и осадки грунта при изменении на заданную величину (величину $\pm 2^{\circ}\text{C}$) температуры стенки МН приведены на рис. 10, 11.

На основании полученных прогнозных ореолов оттаивания и осадок грунта проведены расчеты напряженно-деформированного состояния стенки МН, по результатам которых выявлено, что при расчете с исходной температурой стенки МН дата превышения расчетными напряжениями предела текучести стали (σ_T) составляет август 2025 года, при расчете с измененной на заданную величину температурой стенки МН – сентябрь 2023 г.

В таблице 2 представлены данные по прогнозным осадкам грунта для выбранного расчетного участка для расчета с измененной температурой стенки МН на даты август 2025 года и сентябрь 2023 года.

По результатам проведенного анализа выявлено, что при изменении температуры стенки МН

Таблица 1. Сроки достижения ореолом оттаивания подошвы каждого слоя грунта в расчетном сечении.

№ п/п	ИГЭ	Грунты в расчетном сечении				
		Грунт подсыпки	Песок серовато-бурый	Суглинок щебенистый слабоблистый	Ледогрунт	Песчанник плотный
1	Положение подошвы слоя грунта от нижней образующей МН, м	0,2	3,9	4,8	7,9	12,0
2	Накопленная осадка грунта в заданном сечении, м	0,043	0,043	0,402	3,390	3,390
3	Срок достижения ореолом оттаивания подошвы слоя грунта (исходный расчет)	-	8 лет 9 мес.	11 лет 9 мес.	22 года	26 лет 4 мес.
4	Срок достижения ореолом оттаивания подошвы слоя грунта (расчет при изменении температуры стенки МН на величину среднего расхождения расчетной и фактической температур, 2°C)	-	6 лет 10 мес.	11 лет 1 мес.	20 лет 9 мес.	24 года 10 мес.
5	Разница указанных в п.3 и п.4 сроков:	-	1 год 11 мес.	8 мес.	1 год 3 мес.	1 год 6 мес.

Таблица 2. Результаты расчета НДС в стенке МН.

№ п/п	Координата сечения расчетного участка, км	Расчет при измененной $T_{ст}$		Вывод
		Осадки грунта на дату август 2025 г. (превышение расчетными напряжениями σ_t при расчете с исходной $T_{ст}$)	Осадки грунта на дату превышения расчетными напряжениями σ_t - сентябрь 2023 г.	
1	2	3	4	5
1	0	0,085	0,029	Срок достижения расчетными напряжениями предела текучести стали σ_t сокращается на 1 год 11 месяцев
2	0,268	0,124	0,071	
3	0,368	0,171	0,110	
4	0,901	0,146	0,098	
5	0,958	0,178	0,123	
6	1,023	0,178	0,124	
7	1,078	2,619	1,086	
8	1,128	0,088	0,043	
9	1,228	0,169	0,104	
10	1,328	0,076	0,011	
11	1,428	0,136	0,071	
12	1,508	0,171	0,128	
13	1,608	0,062	0,062	
14	1,718	0,166	0,109	

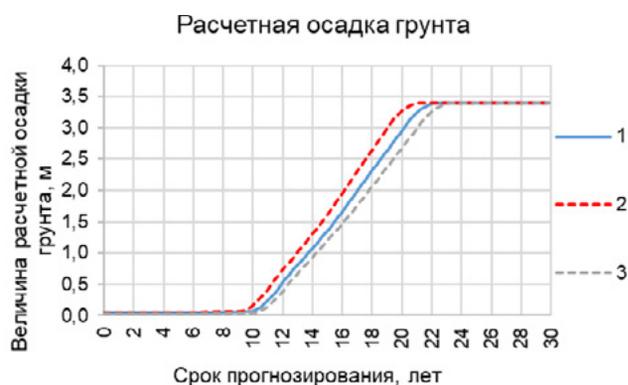


Рис. 10. График изменения расчетной осадки грунта по месяцам при изменении температуры стенки на заданную величину.

- 1 – расчетная осадка грунта при исходной температуре стенки МН;
- 2 – расчетная осадка грунта при увеличенной температуре стенки МН;
- 3 – расчетная осадка грунта при уменьшенной температуре стенки МН.

на выявленную среднюю величину расхождения расчетных температур нефти для планируемых режимов, используемых при прогнозировании состояния МН, и фактических температур, измеренных датчиком ВИП ОПТ, срок достижения расчетными напряжениями в стенке МН предела текучести стали сокращается на срок 1 год 11 месяцев, что свидетельствует о чувствительности модели к изменению исходных данных (температуры нефти). Таким образом, в результате анализа чувствительности модели расчета ореолов оттаивания, осадки грунта и напряженно-деформированного состояния в стенке МН получено, что модель чувствительна к изменениям температурного режима перекачки. В течение всего срока прогнозирования состояния МН (30 лет) будет происходить и дальнейшее изменение параметров теплообмена на трассе. В связи с этим вопросы повышения точности прогнозных расчетов состояния МН и соответствия расчетной модели МН фактическим условиям на трассе будут актуальными в течение всего жизненного цикла МН для обеспечения его надежной и безопасной эксплуатации.

По итогам проведенного исследования предлагается при эксплуатации трубопроводов, проложенных в районах Арктики и континентального шельфа, использовать разработанные предложения по повышению точности прогнозных расчетов величин ореолов оттаивания и осадки грунта в основании

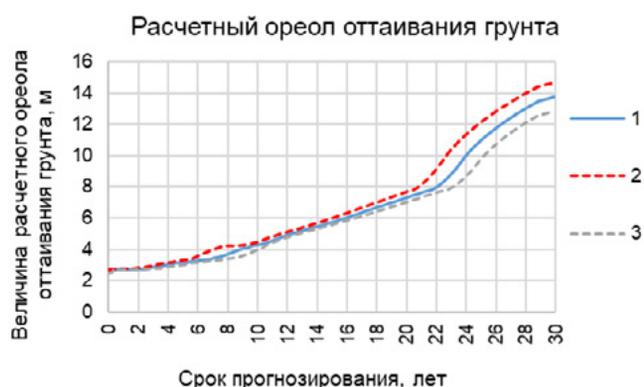


Рис. 11. График изменения расчетного ореола оттаивания грунта по месяцам при изменении температуры стенки на заданную величину.

- 1 – расчетный ореол оттаивания грунта при исходной температуре стенки МН;
- 2 – расчетный ореол оттаивания грунта при увеличенной температуре стенки МН;
- 3 – расчетный ореол оттаивания грунта при уменьшенной температуре стенки МН.

МН, описанную в данной работе и опробованную на МН «ВСТО-1»:

- предусмотреть использование результатов измерения СОД температуры перекачиваемой нефти при расчете температуры стенки МН в части выбора формы аппроксимирующей функции;
- предусмотреть периодическую проверку необходимости перекалибровки тепловой модели перекачки нефти для фактических режимов перекачки на основании разработанного критерия.

Применение данных предложений позволит:

1. Получать более точный результат в прогнозировании состояния МН в условиях распространения ММГ, представленных льдистыми и сильнольдистыми грунтами.
2. Своевременно принимать решения о необходимости проведения компенсирующих мероприятий, что является основой безопасной эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса.
3. Избежать преждевременного вложения средств в проведение ремонтных работ и в результате этого возникновения упущенной выгоды для эксплуатирующей организации.
4. Предотвратить затраты, связанные с остановками МН из-за недопустимых перемещений оси МН, не допустить возможное возникновение аварийных ситуаций и предотвратить затраты на ликвидацию их последствий.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЁННОЕ ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИМЕНИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ А.В. ХРУЛЁВА»

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ПИЩИ В ОГРАНИЧЕННЫХ (ЗАКРЫТЫХ) ПРОСТРАНСТВАХ

Авторский коллектив:

*Топоров Андрей Викторович,
Абдурахманов Эльшан Фарайиз оглы,
Басько Александр Петрович,
Николюк Ольга Ивановна,
Оболенская Юлия Андреевна.*

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации питание граждан страны должно отвечать характеру и условиям их деятельности, обеспечить компенсацию воздействия неблагоприятных факторов обитаемости и восполнение сил.

Вместе с тем, к настоящему времени, отсутствуют научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности организации питания военнослужащих в ограниченных (закрытых) пространствах. Требуется разработка технических и технологических решений направленных на повышение технико-экономической эффективности оборудования и процессов приготовления пищи на основе обоснованных технических и технологических решений по совершенствованию его характеристик [4].

Для повышения эффективности приготовления пищи в ограниченных (закрытых) пространствах зданий и сооружений размещенных в районах АЗ РФ разработаны: устройство для тендеризации в жидких средах УТЖС-1 и устройство для тендеризации УТ-0,1, обеспечивающие сокращение потерь мясного сока, сохранение нутриентов исходного сырья, снижение физических затрат обслуживающего персонала и соблюдение санитарно-эпидемиологических требований при кулинарной (механической) обработке скоропортящихся продуктов питания (нежилованного мяса) [1,3,6,8].

Принцип работы устройств основан на использовании метода разрядно-импульсной обработки (РИО) для размягчения межмышечных соединительных тканей и сухожилий структуры мясного (крупнокускового $m=1,5-2$ кг, порционного $m=0,08-$

$0,12$ кг) полуфабриката при сохранении витаминов, минеральных и других биологически активных веществ.

Технические решения базируются на эффективном использовании разряда в жидкой среде, создаваемого электродами, на которые подается импульс.

Практическая значимость технических решений заключается в реализации интенсификации созревания мясных полуфабрикатов из разных частей туши животных на 18–22 %, за счет тендеризации, обеспечивающей снижение временных и физических затрат в ограниченном пространстве, что позволяет значительно расширить ассортимент готовых блюд и повысить их пищевую ценность на 21–28 %, а также позволяет заблаговременно осуществить подготовку мясных полуфабрикатов, в центральных районах страны, с последующей заморозкой, увеличить объём, массу и повысить усвояемость готовых продуктов питания [9,10].

Применение разрядно-импульсного удара, рассмотренного выше, для предварительного размягчения структуры полуфабрикатов из мяса в течение нескольких секунд не только экономически выгодно, так как позволяет использовать большую часть туш животных для получения высококачественных изделий, но и делает более доступными и легко перевариваемыми питательные вещества мяса.

Для повышения эффективности организации питания военнослужащих в ограниченных (закрытых) пространствах разработан (конструктивно усовершенствован) малогабаритный многофункциональный аппарат ММА-1 обеспечивающий максимальное сохранение питательных веществ, сок-

ращение тепловых потерь, продолжительности приготовления блюда, снижение образования канцерогенных веществ, расширение функциональных возможностей, повышение КПД, а также возможность принудительной утилизации дыма и пара в процессе тепловой обработки [2,5,7].

Принцип работы устройства основан на использовании метода принудительной конвекции в режиме «Гриль».

Надежность работы аппарата ММА-1 достигается за счет включения в конструкцию кварцевых нагревательных элементов с инфракрасным излучением в ближней области (длина волны $\lambda=1,0-1,3$ мкм). Принудительный сброс дыма и пара осуществляется дымоулавливателем и насосом в систему вентиляции или канализации.

Новизна предложенного теплового аппарата заключается в применении гриль-обработки мясных ((порционных ($m=80-120$ г) и мелкокусковых ($m=30-40$ г)) полуфабрикатов, на внутренние стенки которого нанесено специальное отражающее покрытие инфракрасного излучения, а на внешнюю жаропрочного и высокоэффективного кварцевого аэрогеля ХТ. Интенсификация приготовления мясных блюд обеспечивается за счет использования модуля из сборных кварцевых ТЭНов размещенных на расстоянии 4,5-5 см от продукта питания.

Практическая значимость аппарата ММА-1 заключается в реализации возможности приготовления мясных блюд (включая шашлык) при снижении энергозатрат, также нагрузку на систему вентиляции и очистки (фильтрации) воздуха в помещении. Изменение принципа тепловой обработки мяса позволяет сократить ее продолжительность на 25-30 %, при повышении производительности аппарата на 20-25 %, а также обеспечить расширение ассортимента готовых блюд из нежилованного мяса при сохранении пищевой ценности исходного сырья. Габаритные размеры и функциональные возможности позволяют его использовать в ограниченных (закрытых) пространствах.

Таким образом, технические и технологические решения обеспечивают приготовление легкоусвояемых мясных блюд с сохранением пищевой ценности исходного сырья за счет использования синергии ударных волн для тендеризации полуфабриката при равномерном просаливании и сохранении питательных веществ исходного сырья и тепловой обработки в режиме гриль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахманов Э. Ф. Техническая разработка ускорения тендеризации и посола мясных полуфабрикатов [Текст] / Э. Ф. Абдурахманов // Ползуновский вестник, 2018. – № 4. – С. 31–36.
2. Абдурахманов, Э. Ф. Техническая разработка в целях гриль приготовления мясных продуктов питания в условиях камбуза подводной лодки [Текст] / Э. Ф. Абдурахманов // Все о мясе, 2019. – № 2. С 49–53.
3. Абдурахманов Э. Ф. Технологическая разработка сохранения пищевой ценности и повышения усвояемости мясных блюд [Текст] / Э. Ф. Абдурахманов // Техника и технология пищевых производств, 2019. –Т. 49, – № 2. С. 177–184.
4. Абдурахманов Э. Ф. Методика оценки производственных возможностей технологического оборудования для камбузов подводных лодок / Э.Ф. Абдурахманов, С.А. Романчиков, В.И. Пахомов и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2018612966, (в реестре программ для ЭВМ от 01.03.2018).
5. Абдурахманов, Э. Ф. Устройство по гриль-обработке мяса / Э.Ф. Абдурахманов, С.А. Романчиков // Патент на изобретение № 2655406, опубл. 28.05.2018. Бюл. № 16.
6. Абдурахманов Э. Ф. Мобильное устройство для отбивания мясных полуфабрикатов в ограниченном пространстве / Э. Ф. Абдурахманов, А. В. Топоров и др. // Патент на полезную модель № 183819, опубл. 04.10.2018. Бюл. № 28.
7. Абдурахманов Э. Ф. Устройство для приготовления мясных и рыбных блюд в ограниченном пространстве / Э.Ф. Абдурахманов, С.А. Романчиков и др. // Патент на изобретение № 2691242, опубл. 11.06.2019 г., Бюл. № 17.
8. Николюк О.И. Устройство для приготовления мясных блюд / О.И. Николюк Д.Ю. Усов, Р.С. Сабиров и др. // Патент на изобретение № 2691263, опубл. 03.09.2019 г., Бюл. № 25.
9. Абдурахманов Э. Ф. Устройство для тендеризации мясных полуфабрикатов / Э.Ф. Абдурахманов, С.А. Романчиков, А.В. Топоров и др. // Патент на изобретение № 2699186, опубл. 03.09.2019. Бюл. № 25.
10. Абдурахманов Э. Ф. Устройство для тендеризации в жидкой среде / Э.Ф. Абдурахманов, С.А. Романчиков // Патент на полезную модель № 192450, опубл. 17.09.2019. Бюл. № 26.

ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИМЕНИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ А.В. ХРУЛЁВА»

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К МОБИЛЬНОМУ
КОМПЛЕКСУ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОИНСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВИДОВ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РОДОВ ВОЙСК В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

*Авторский коллектив:
Каптюх Александр Николаевич,
Бабенков Валерий Иванович,
Мамедов Руслан Гасанович,
Зеленковский Василий Васильевич,
Мороз Александр Федорович.*

Проjekt «Мобильный комплекс жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе» направлен на устранение проблемы громоздкости системы жизнеобеспечения военнослужащих в Арктике, повышение её автономности, мобильности и живучести, без ущерба качества жизни.

Ключевые слова: Арктический регион, жизнеобеспечение, инфраструктура, Вооружённые Силы.

Проект «Мобильный комплекс жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе» представляет из себя научно-исследовательскую работу (НИР) «Разработка и обоснование тактико-технических требований (ТТТ) к мобильному комплексу жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе» имеет практическую направленность в форме перспективного «Мобильного комплекса жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе» (рис. 1).

Заказчиком НИР выступил Штаб материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации.

Актуальность научно-исследовательской работы «Разработка и обоснование тактико-технических требований к мобильному комплексу жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов

войск в Арктическом регионе» (шифр – Мобильность-МТО) заключается в:

- укреплении и развитии национальных интересов России за счёт технического переоснащения оборонной инфраструктуры и инфраструктуры жизнеобеспечения войск в Арктическом регионе Российской Федерации;
- внедрении перспективных форм и способов применения войск в Арктическом регионе, их всестороннего и бесперебойного обеспечения;
- необходимости повышения качества жизнеобеспечения воинских подразделений Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ), дислоцирующихся в Арктическом регионе.

Новизна научно-технической идеи заключается в:

- устранении проблемы громоздкости существующей системы жизнеобеспечения военнослужащих в Арктическом регионе, повышение её автономности, мобильности и живучести;
- создании перспективной арктической инфраструктуры жизнеобеспечения войск для повышения боевого потенциала ВС РФ;
- модернизации существующей системы инженерно-аэродромного и аэродромно-технического обеспечения Военно-воздушных сил (ВВС) в Арктическом регионе;
- разработке и научном обосновании тактико-технических требований к мобильному комплексу жизнеобеспечения (МКЖ) воинских подразделений, выполняющих задачи в Арктическом регионе.

Значение для практики – НИР носит практический характер, его реализация выражается



Рис. 1. Модель мобильного комплекса жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе

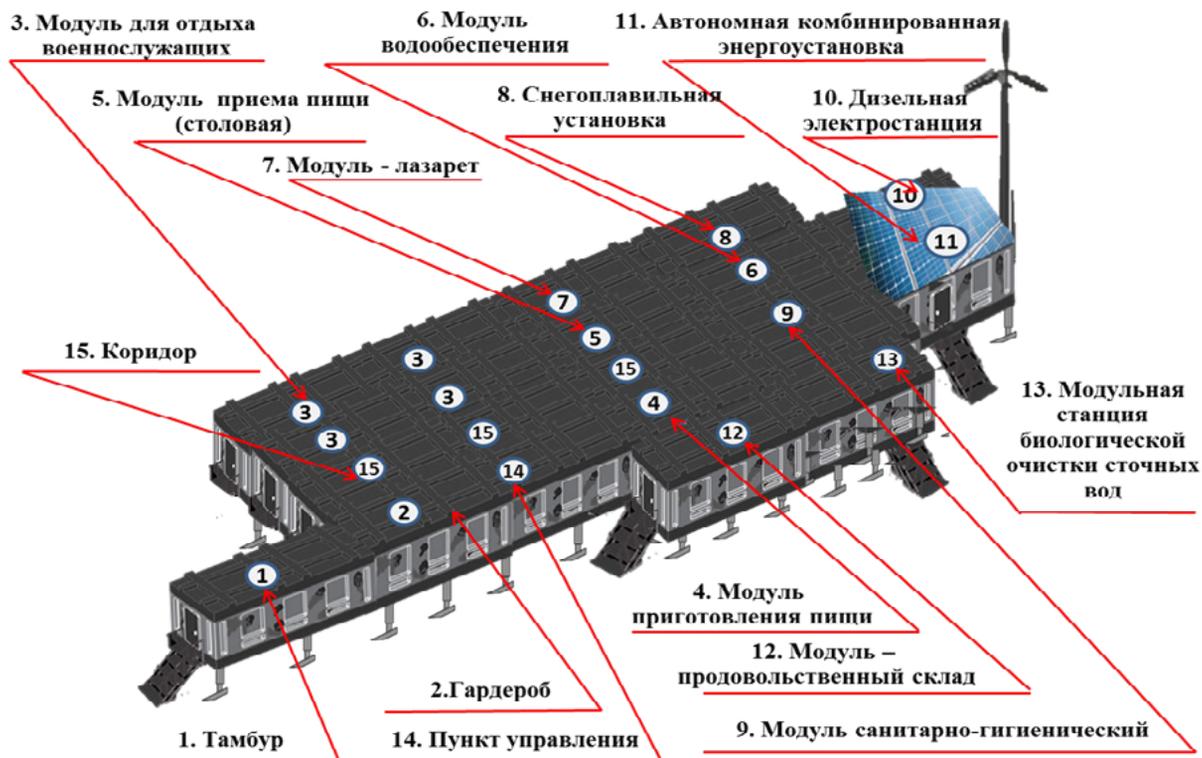


Рис. 2. Автономный мобильный комплекс жизнеобеспечения - Арктический.

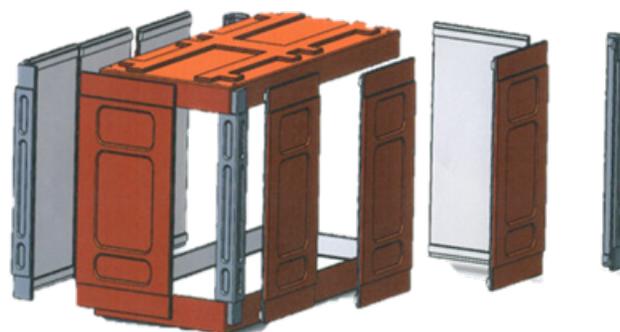


Рис. 3. Мобильный модуль жизнеобеспечения для Арктического региона.

в форме реального производства МКЖ воинских подразделений видов ВС РФ и родов войск в Арктическом регионе предприятиями экономического комплекса страны в инициативном порядке, **за счёт собственных сил и средств. МКЖ полностью отечественного производства, включая материалы и комплектующие.** В настоящее время проекты тактико-технических требований к МКЖ проходят процедуру согласования с органами управления материально-техническим обеспечением ВС РФ, для последующего принятия его на снабжение.

Реализация возможна и в других заинтересованных Федеральных органах исполнительной власти Российской Федерации.

Ключевым звеном мобильного комплекса жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе является Автономный мобильный комплекс жизнеобеспечения – Арктический (АМКЖ-А) (рис. 2), основой которого является мобильный модуль жизнеобеспечения для Арктического региона (ММЖ-А), разработанный ЗАО «ТехПолимер», г. Красноярск (рис. 3).

Основными достоинствами ММЖ-А являются мобильность, простота конструкции, высокая тепло- и морозостойкость, исключение обледенения внутренних стенок, высокая устойчивость к воздействию микроорганизмов и агрессивных сред, низкий удельный вес, незаметность для РЛС, удобство транспортировки, негорючесть, прочность, возможность перемещения на местности за счёт укомплектования специальными салазками и сопрягаемость с другими модулями.

Кроме ТТТ к АМКЖ-А в НИР разработаны требования и к другим элементам комплекса, в частности:

- автономной комбинированной энергоустановке;
- системе отвода и очистки сточных вод;
- снегоплавильной установке;
- автоматизированной системе охраны и пожаротушения;
- мобильному фитокомплексу;
- модулю технический;
- комплекту групповой заправки летательных аппаратов топливом;
- мобильному аэродромному светосигнальному оборудованию аэродрома;
- мобильному искусственному покрытию элементов аэродромов авиационных частей, дислоцированных в Арктическом регионе;
- мобильному складу горюче-смазочных материалов.

По оценке экспертов, применение МКЖ в Арктическом регионе позволит повысить боевой потенциал дислоцируемых там воинских подразделений по показателям автономности, живучести, мобильности более в полтора раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. НИР «Разработка и обоснование тактико-технических требований к мобильному комплексу жизнеобеспечения воинских подразделений видов Вооруженных Сил Российской Федерации и родов войск в Арктическом регионе» (промежуточный, этап 1), шифр «Мобильность-МТО», СПб., НИИ ВА МТО, 2019

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РОССЕТИ ТЮМЕНЬ»

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ ВЧ-СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЁДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК, ВНЕДРЕННЫХ В АО «РОССЕТИ ТЮМЕНЬ»

Автор: Курмиев Олег Валерьевич.

На линиях электропередач с двусторонним питанием в качестве основной часто применяется высокочастотная защита, использующая для своей работы ВЧ связь по проводам защищаемой ВЛ. Образование гололёдно-изморозевых отложений на проводах линии может существенно ослаблять ВЧ сигнал, приводя к нарушению связи по ВЧ каналу и возможной неселективной работе защит. Описанная в статье модификация высокочастотного приёмопередатчика позволяет оперативно устранять его неисправность при увеличении затухания в ВЧ канале и сохранять защиту в работе.

Ключевые слова: высокочастотная защита, гололёдно-изморозевые отложения, затухание, высокочастотный приёмопередатчик, ПВЗУ-Е.

В филиале АО «Россети Тюмень» Энергокомплекс на момент написания этой статьи 36 из 43 линий электропередач были оснащены основными высокочастотными защитами. Данные защиты играют важную роль в быстром селективном отключении транзитных ВЛ и поддержании устойчивости энергосистемы. В 2015 году в филиале были введены в эксплуатацию ВЧ защиты на 11 транзитных линиях 110 кВ с низкой загруженностью. В зимний период с декабря по февраль было неоднократно зафиксировано пропадание сигналов по ВЧ каналам на данных линиях по причине образования гололёдно-изморозевых отложений на проводах.

Для нормального функционирования ВЧ защит требуется возможность беспрепятственного прохождения ВЧ сигнала по проводам защищаемых ВЛ. При прохождении сигнала по линии неизбежны потери мощности, приводящие к его затуханию. Качество ВЧ канала защиты характеризуется величиной затухания сигнала, которое можно оценить по имеющемуся запасу по перекрываемому

затуханию приёмника. Необходимое значение запаса по затуханию зависит от настройки чувствительности и от величины затухания на ВЛ. Чрезмерное увеличение запаса по затуханию отрицательно сказывается на входном тракте приёмника. При значительном уменьшении запаса по затуханию полуккомплекты ВЧ защит не смогут обмениваться ВЧ сигналами, что может привести к неселективному отключению линии при КЗ на смежных ВЛ.

Величина затухания на ВЛ зависит от множества факторов: конфигурации опор, транспозиции проводов, количества отпаек, частоты ВЧ канала и т.д. [2] Однако большинство этих факторов являются постоянными и от вызываемых ими затуханий приёмник отстраивается правильным выбором уровня чувствительности. Наиболее существенным фактором, влияющим на изменение величины затуханий в течении года, является образование гололёдно-изморозевых отложений (ГИО). Влияние GIO должно быть учтено проектными институтами при выборе частот ВЧ каналов в соответствии с применяемыми руководящими документами [1]. Параметры ВЧ канала проектируются таким образом, чтобы рекомендуемый запас по затуханию покрывал возможные колебания величины затуханий, вызванных GIO, однако всё же допускается возможность нарушения работы канала при самых неблагоприятных погодных условиях.

Для используемых в филиале «Энергокомплекс» ВЧ приёмопередатчиков типа ПВЗУ-Е рекомендуемая изготовителем величина запаса по затуханию в нормальных условиях не должна превышать 24 дБ. В результате появления изморози зимой 2015 года этот запас опускался до уровня ниже 0 дБ. С такими параметрами ВЧ каналов основные защиты приходилось выводить из работы, чтобы избежать неселективного отключения линии при внешних коротких замыканиях.

Специалистами филиала было рассмотрено несколько способов решения данной проблемы:

- 1) Периодически изменять чувствительность приёмопередатчиков.
- 2) Провести перерасчёт частот ВЧ каналов основных защит ВЛ в сторону уменьшения.
- 3) Изменить схему подключения приёмопередатчиков к ЛЭП.
- 4) Отказаться от использования ВЧ каналов и перейти на оптоволоконные линии связи.

Первый способ требует наименьших капитальных затрат, однако при его реализации возникает ряд трудностей. Во-первых, увеличение чувствительности ВЧ приёмопередатчиков ПВЗУ-Е не может быть произведено оперативно. Для этого требуется вывести защиту из работы, извлечь из устройства блок цифровой фильтрации и синтеза (ЦФС) и выставить внутренними переключателями требуемую настройку. Во-вторых, если увеличить чувствительность приёмников, то можно избежать пропадания ВЧ канала, но в таком случае после освобождения линии от изморози чувствительность по каналам будет выше порога в 24 дБ. Поэтому после освобождения линии от изморози чувствительность необходимо уменьшить до первоначального значения.

Автоматизированного способа контроля затухания и изменения чувствительности в данных устройствах не предусмотрено. Для реализации введения оперативного сезонного изменения уровня чувствительности (зима-лето) в филиале «Энергокомплекс» разработан и согласован с из-



Рис. 3. Блок ЦФС до и после модификации.

готовителем метод модернизации приёмопередатчиков типа ПВЗУ-Е, позволяющий изменять уровень чувствительности без вывода защиты из работы.

Суть метода заключается в установке в схему блока ЦФС дополнительного реле вместо штатного переключателя, ступенчато изменяющего уровень чувствительности (рис. 1). Реле управляется выводимым на внешнюю панель тумблером, которым может оперировать оперативный персонал. Тумблер вводится при сигнализации приёмопередатчика об увеличении затухания и выводится при восстановлении запаса до нормального уровня. Модификация имеет низкую себестоимость и может



Рис. 2. График увеличения затуханий и оперативного восстановления запаса по затуханию.

быть произведена заводом-изготовителем по заказу либо ремонтным персоналом самостоятельно при плановом техническом обслуживании приёмопередатчиков.

Модернизированные приёмопередатчики были установлены в основных защитах семи ВЛ 110 кВ филиала и находились в опытной эксплуатации два года. В течение периодов с декабря 2016 по март 2017 г. и с декабря 2017 по март 2018 г. на данных ВЛ несколько раз запас по затуханию в ВЧ трактах уменьшался до нуля, после чего был успешно восстановлен оперативно (рис. 2). Это позволило избежать необходимости вывода основных защит из работы, а также доставки релейного персонала на удалённые подстанции для ручного регулирования уровня чувствительности приёмников.

Данный метод не позволяет осуществлять плавное регулирование уровня чувствительности, а также увеличить запас по затуханию выше 15 дБ. Поэтому для модернизации требуется предварительный

анализ изменения затуханий в ВЧ канале в течение зимы и регулировка чувствительности в двух наиболее характерных режимах работы. Применение данного метода возможно на линиях, где из-за возникающих изморозевых отложениях затухания увеличиваются ступенчато на величину, не превышающую 30-35 дБ, а на приёмниках не используется одна из двух ступеней регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *СТО 56947007-33.060.40.045-2010 Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ / ОАО «ФСК ЕЭС». – [Электронный ресурс] – Режим дос-тупа: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-33.060.40.045-2010.pdf>. – Загл. с экрана [29.11.18].*
2. *Шкарин Ю.П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи (часть 1 и часть 2) [Текст] / Ю.П. Шкарин. – Москва: НТФ «Энергопрогресс» и «Энергетик», 2001. – 146 с.*

АО НПП ПТ «ОКЕАНОС», ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ГРУПП РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПОВЫШЕННОЙ АВТОНОМНОСТИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ИЗ СОСТАВА ОБСЕРВАТОРИЙ, С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Авторский коллектив:

*Волошин Сергей Борисович,
Драгомощенко Филипп Остапович,
Занин Владислав Юрьевич,
Маевский Андрей Михайлович.*

Разработка робототехнических комплексов (РТК) и технологий их применения для осуществления подводных работ в Арктической зоне, является крайне сложной задачей, особенно с точки зрения реализации автономных систем управления. Жесткая зависимость от метеорологических условий, особенности навигации в высоких широтах, невозможность всплытия аппаратов на поверхность, постоянно меняющаяся карта ледовых поверхностей, наличие сильных подледных течений, все эти факторы должны быть обнаружены и учтены на бортовых системах подводного аппарата. С другой стороны, аппараты имеют существенные ограничения со стороны бортовых запасов энергии, из чего вытекает еще одна задача, связанная с решением вопроса увеличения автономности аппаратов и возможность их длительного использования в подледной обстановке. Для решения подобных проблем, сегодня разработчики, задействованные в том числе в сфере оперативной океанографии, развертывают на дне сети из донных станций, которые позволяют обеспечить постоянное базирование аппаратов на дне интересующих акваторий, что в мире сегодня принято называть «подводными резидентными технологиями». На примере практических проектов зарубежных коллег, сегодня можно с уверенностью утверждать, что сфера резидентной робототехники, использующая подводные аппараты интервенционного класса развивается «семимильными шагами», что теперь позволяет успешно решать многие из задач, связанных с сервисным обслуживанием, пробоотбором, инспектированием и т.д., имевшие ранее ограничения по возможности и времени использо-

вания подводной робототехники. При этом, также стало очевидно, что для решения многих океанографических и мониторинговых задач целесообразно использовать группы (как гомогенные, так и гетерогенные) робототехнических комплексов (РТК), что существенно повысит комплексность и качество выполняемых работ и позволит сократить как экономические затраты на проведение работ, так и потребное время выполнения этих работ на фоне не менее положительной тенденции к снижению эмиссии углекислого газа, шумового загрязнения окружающей среды в период выполнения работ. В связи с данными выводами, авторами впервые формулируется возможность объединения всех перечисленных технологий в одну «структуру», связывающую в себе возможность взаимодействия, гомогенных и/или гетерогенных групп подводных / надводных аппаратов (в том числе и воздушных) с заблаговременно развёрнутой подводной инфраструктурой в виде автономных и/или кабельных сетей донных станций и обсерваторий, имеющих интегральный функционал как непосредственно приборно-измерительной системы, так и обеспечения базирования телеуправляемой и автономной подводной робототехники многоцелевого назначения.

На *рис. 1* показана современная международная концепция гетерогенной двух уровневой подводной резидентной робототехнической системы в составе донной океанографической (экологической, мониторинговой нефте-газовой, оборонной и т.д.) обсерватории с использованием опыта эксплуатации, техники и технологий на сентябрь 2020 г.:

- донных энергетических, коммуникационных, доковых и приборных модулей станций обсервато-

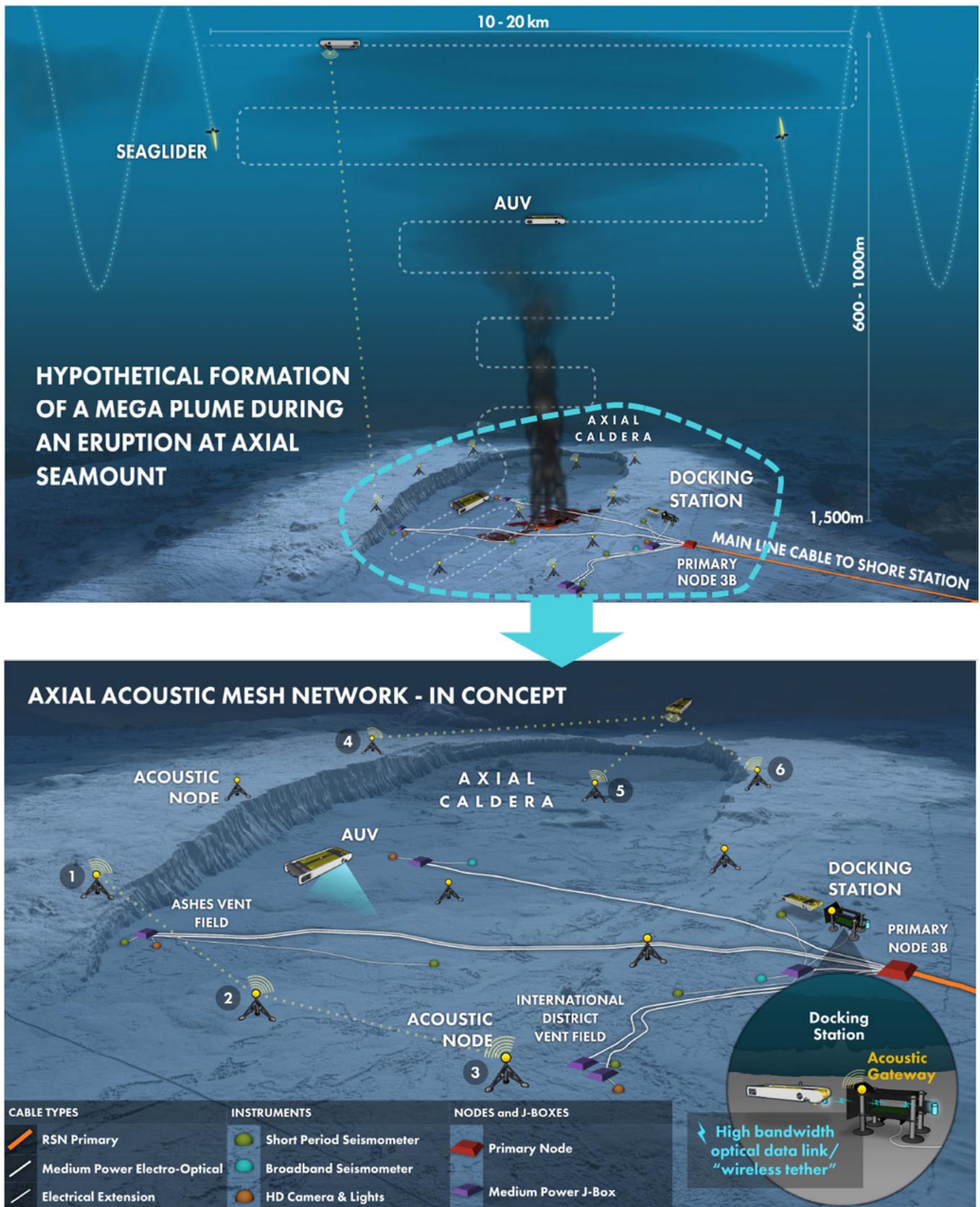


Рис. 1. Современная международная концепция гетерогенной двух уровневой подводной резидентной робототехнической системы.

рии от компании «OceanWorks Int.», Канада (реализованные проекты донных обсерваторий «Venus» и «Neptune» с опытом эксплуатации порядка 15 лет);

- подводных планеров (глайдеров) «Seaglider» корпорации «Kongsberg», Норвегия (с опытом эксплуатации порядка 23 лет);

- интервенционных гибридных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) резидентного базирования «Sabertooth» компании «SAAB Seaeye», Швеция (опытная эксплуатации более 10 лет);

- технология подводного базирования с использованием универсальных доковых станций «SDS» открытого стандарта для подводной робототехники резидентного базирования компании «Blue Logic», Норвегия, разработанных по заказу компании «Equinor» (ex-Statoil), Норвегия и обеспечивающих интерфейс с существующими интервенционными необитаемыми подводными аппаратами компаний «SAAB Seaeye» (HAUV/ROV «Sabertooth»), Швеция; «Oceanering» (HAUV/ROV «Freedom»), США; «Saipem» (UID «Hydrone-R» & «Hydrone-S»), Италия; «Stinger» (на базе ROV «VideoRay»), Норвегия (практическое морское донное резидентное базирование подводной робототехники на период до 19 месяцев включительно);

- технологий подводной беспроводной передачи электроэнергии и связи на базе индукционных каналов «Subsea USB» A.01 / B.01 / C.01 компании «Blue Logic», Норвегия (промышленный стандарт);

- технологий подводной беспроводной гидроакустической и оптической связи и навигации (позиционирования) «AVTRAK» и «BlueComm» компании «Sonardyne», Великобритания для одиночного и группового применения подводной робототехники (практическая эксплуатация подсистем более 10 лет);

- технологии автономных подводных энергостанций на базе водородных топливных элементов «Subsea Supercharger» компании «Teledyne Energy Systems», США (эксплуатация в составе подводного докового комплекса резидентной робототехники в течении 2 лет).

ВВЕДЕНИЕ

Как известно большая часть всех разведанных запасов углеводородов России находятся именно в арктическом регионе. Там же ведётся и большой объём морских мониторинговых и исследователь-

ских работ. По подсчетам Минэнерго к середине 2030-х годов на российском шельфе Арктики будет добываться около 30 млн тонн нефти, что находит отражение в требованиях «Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года» как в констатации проблемных вопросов, так и определения путей их решения [38]:

...в освоении Мирового океана для развития морских месторождений:

- ограничения ряда стран на российские нефтегазовые компании и поставки современных технологий/оборудования для разведки и разработки глубоководных, арктических и сланцевых месторождений России;

- недостаточно развитая отечественная научно-техническая база разработок новых методов и средств поиска, разведки и добычи полезных ископаемых.

...в развитии морских научных исследований:

- отсутствие технических средств нового поколения.

...в развитии видов обеспечения безопасности морской деятельности:

- недостаточное развитие российских океанографических автоматических и автономных средств измерений - дрейфующих буйев, притопленных буйковых станций, подводных роботов (глайдеров) и, как следствие, недостаточное развитие исследований океанических процессов как физической основы совершенствования и создания новых методов расчета, диагноза и прогноза состояния океана в широком спектре пространственных и временных масштабов.

...в обеспечении безопасности объектов морской инфраструктуры и прилегающих к ним акваторий:

- недостаточная оснащённость объектов морской инфраструктуры и прилегающих к ним акваторий современными отечественными техническими средствами охраны и физической защиты, в т.ч. с применением подводных робототехнических комплексов, для предупреждения и пресечения террористических и диверсионных действий, иных актов незаконного вмешательства в их функционирование.

...в обеспечении защиты и сохранения морской среды:

- низкая оснащённость надзорных органов современными специализированными судами и техническими средствами для эффективного осуществ-

вления государственного экологического надзора, предупреждения и ликвидации последствий загрязнения морской среды.

В виду сложившейся экономической ситуации, обусловленной как геополитической, так и пандемической обстановкой, затраты на развитие морской добычи за последние семь лет снизились почти в половину. С учётом необходимости качественного всестороннего круглогодичного обеспечения морских операций в высокоширотных или приравненных к ним акваторий с целью исключения потерь от привлечения судов ледокольного обеспечения, непроизводительных мобилизаций/демобилизаций оборудования и персонала на борт судов, переходов судов обеспечения с портов в районы морских операций и обратно, простоев по погоде, ледовой обстановке или условиям судоходства в период ведения морских операций, а также снижения экологических и юридических рисков представляется целесообразным внедрение новых подводных технологий как в обеспечивающих направлениях, так непосредственно в разведке, исследованиях, развитии и эксплуатации морских месторождений полезных ископаемых в арктическом регионе, с учетом уже имеющегося мирового опыта и практического задела российских ученых и предприятий по инновационным технологиям подводной робототехники резидентного базирования и группового применения.

На данный момент, в Российской Федерации есть образцы АНПА классических технологий, которые успешно применяются в целях морских исследований [1-4], к сожалению данные мобильные платформы в ледовых условиях не способны получать навигационные данные и компенсировать накапливаемые невязки навигации и позиционирования без значительных затрат и рисков. Между тем в мире и ограниченно в Российской Федерации идет развитие энергоэффективных подводных аппаратов планерного типа – подводных глайдеров [5-14]. По мнению авторов, логичным является использование групп именно таких аппаратов, для выполнения задач в подледных условиях, так как группа глайдеров (в классическом и гибридном (с вспомогательной пропульсивной установкой) исполнении) способна покрыть большую площадь обследования, обеспечить получение океанологических данных в пределах разрезов разных

глубин, быстрое построение карты глубин и большее время мониторинга. Глайдеры обладают высокой энергоэффективностью и автономностью по сравнению с традиционными АНПА, что является неоспоримым преимуществом в использовании группы подобных аппаратов. Некоторые из работ по применению групп подводных глайдеров описаны в работе [15].

Также, как развитие идеи применения групп подводных морских робототехнических комплексов (МРТК), является возможность их использования в разнородных гетерогенных группах в том числе в совокупности с беспилотными летательными аппаратами, подводными резидентными аппаратами и т.д. [16-17].

ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРУПП МРТК

Для формирования и использования группы подвижных объектов любого типа, первоочередной задачей является формализация имеющихся задач, также важным моментом является определение пространственных и временных параметров, накладываемых на работу группы аппаратов. Основываясь на данной информации можно выработать подходы и методы управления группой. В настоящее время чаще всего используются алгоритмы централизованного и коллективного планирования группы роботов. Алгоритмы коллективного или децентрализованного планирования целесообразно использовать, например, для ситуаций, когда задания добавляются по мере работы группы или, когда центральный узел недоступен. Такие алгоритмы предполагают некоторый процесс согласования и распределения задач. Если же весь набор заданий известен заранее, то может быть применен алгоритм централизованного планирования.

Теоретический подход отражающий использование группы АНПА и/или глайдеров для целей сейсморазведки и мониторинга представлен в работе [18,19]. В случае рассмотрения работы группы АНПА первоначальными задачами является вопрос пространственного взаимодействия аппаратами, разработка систем управления [20-22], формирование и соблюдение сконфигурированной формации группы [23,24]. И конечно же, первостепенным вопросом является вопрос обеспечения подводной навигации. Таким образом можно выделить ряд задач, решаемых каждым АНПА в отдельности:

- Перемещение в заданную позицию (в случае использования подводных глайдеров, позиция должна иметь определенные допуски).

- Определение собственного местоположения в системе координат инфраструктуры обсерватории и в рамках формации группы.

- Возможность компенсирования ошибки, при помощи опорных донных или поверхностных навигационных гидроакустических и оптических маяков (буёв), аналогичных маяков или маркеров участников формации группы и/или использовании внутренней системы навигации с корректировкой на основании топографии дна морской поверхности района инфраструктуры обсерватории.

- Организация прямой или опосредованной связи с другими аппаратами в группе.

Соответственно во время выполнения групповой миссии и перемещения формации МРТК в пространстве, необходимо учесть ряд особенностей:

- Безопасность перемещения группы.

- Формирование таких пространственных взаимодействий группы (как глубина, расстояние между участниками формации группы и т.д.), которые бы были способны по заявленному критерию оптимальности, обеспечивать решение поставленной задачи.

- Учет разнородности рельефа дна (и/или нижних частей ледовых полей) относительно каждого элемента группы.

- Обеспечение достаточной связи для группового взаимодействия АНПА.

Каждая из описанных особенностей несет в себе большой комплекс научно-исследовательских задач, подлежащих глубокому рассмотрению и решению.

Но, более сложными задачами, являются задачи, связанные с организацией группового взаимодействия разнородных или гетерогенных групп морских робототехнических комплексов (МРТК). Так, к примеру, является необходимым составление единой методологии организации взаимодействия и применения отдельных агентов группы. Также важным является формирование оптимальной системы заданий или миссий для группы, позволяющей организовать взаимосвязанную работу всех агентов и остальных элементов.

На сегодняшний день подобными разработками морских групповых систем занимается несколько зарубежных компаний. К примеру, известная американская компания Aquabotix и ее проект SwarmDiver [25,26] обеспечивающий единое управление группой гибридных АНПА (от 5 до 25 штук, с возможностью масштабирования модели), способных формировать различные строи и обеспечивать движение данных формаций как на морской поверхности так и в толще воды. Еще одной известной научной работой является европейский проект CoCoRo ученых из итальянского института Сант'Анны [27], которые также зани-

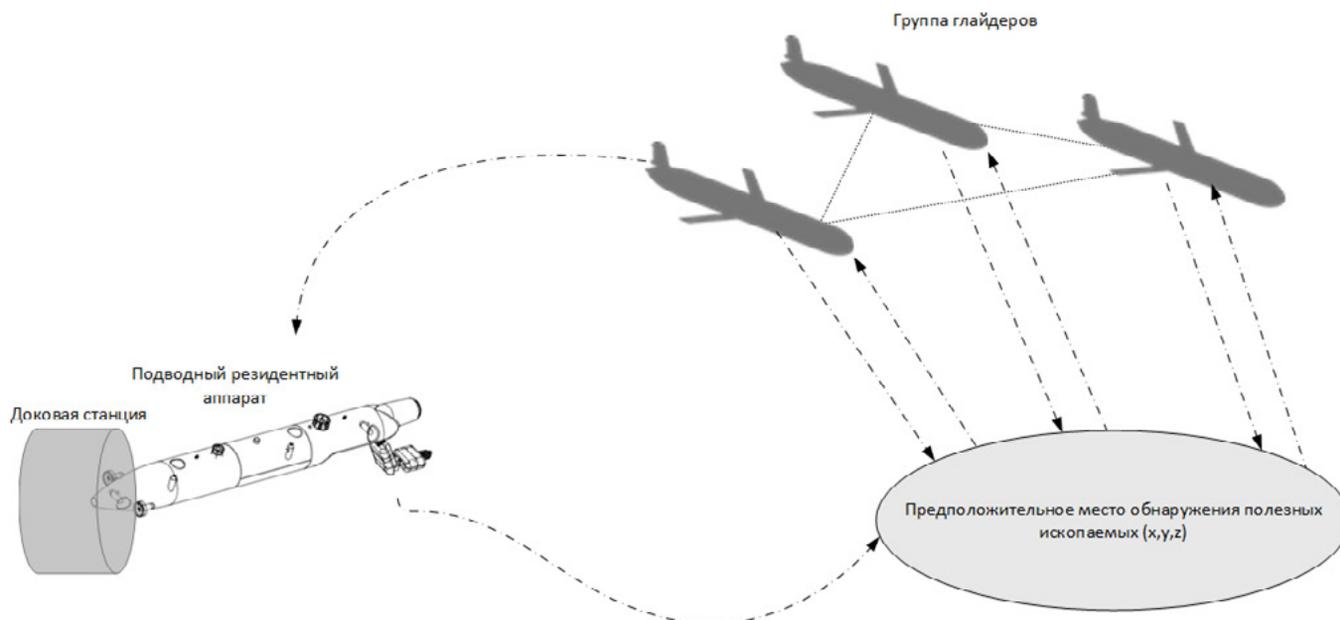


Рис. 2. Пример взаимодействия группы глайдеров и резидентного подводного аппарата.

маются swagm технологиями и коллективным управлением надводных робототехнических платформ. Но данные проекты, как и многие другие находятся на стадии проведения многочисленных исследований и натурных испытаний. Также, основным отличием от отечественного проекта является то что данные разработчики работают с гомогенными группами, т.е. используют однотипные аппараты, что существенно облегчает процесс отладки взаимодействия и организации работы группы.

К примеру, важным аспектом является применение группы МРТК в связке с резидентными АНПА и элементами донной инфраструктуры. Формирование задач и применение резидентных аппаратов подробно описывается в статье [28]. Типовая задача применения группы АНПА (глайдеров) и резидентных технологий проиллюстрирована на *рис. 2*.

В процессе мониторинга, группа подводных глайдеров, которая работает в режиме постоянного обмена информацией, находит условное месторождение углеводородов, затем, отправляя координаты данной области в систему интервенционного аппарата, оснащенного автоматическим манипуляторным комплексом [29]. Данный аппарат базируется в доковой станции. После получения целевых координат, он выдвигается к месту обнаружения, осуществляет забор проб грунта и возвращается обратно в док. После чего системы доковой станции проводят анализ взятых проб грунта. Причём, свою миссию интервенционный автономный необитаемый подводный аппарат резидентного базирования с целью расширения операционного радиуса имеет возможность выполнять с использованием режимов движения классического и гибридного глайдера [30], что было экспериментальным путём подтверждено в ходе серии испытаний 2019 г. на полигоне подводной робототехники в испытательном бассейне ФГБОУ ВО СПбГМТУ, являющегося постоянным научным партнёром АО «НПП ПТ «Океанос» в развитии данных технологий.

Проиллюстрированный пример использования таких технологии существенно позволит повысить эффективность комплексных океанографических обсерваторий и в частности ускорить процесс поисков и обнаружения мест полезных ископаемых.

Как показано на иллюстрации такие технологии удобно применять во время проведения продолжительных работ, связанных с исследованием и обна-

ружением месторождений полезных ископаемых и дальнейшим мониторингом и сервисном обслуживании инфраструктуры подводных месторождений.

Подобная коллаборация позволит оперативно и экономично решить ряд актуальных задач, связанных с освоением арктического региона. Так как уже отмечалось, что работы, выполняемые в данном регионе, напрямую зависят от внешних метеорологических условий, важным аспектом является разработка таких систем навигации и управления, позволяющих обеспечить работоспособность МРТК в частично или полностью автономном режиме, независящем от внешней ледовой обстановки, что позволило бы обеспечить непрерывность выполнения работ и необходимый сбор океанографических данных. Решением данной проблемы является развертывание сети донных океанографических обсерваторий, включающих в себя взаимосвязь доковых станций, для разнородных групп аппаратов, в том числе и подводных глайдеров, обеспечивающих не только сервисное обслуживание базирующихся на них робототехнических комплексов, но и позволяющих организовать внутреннюю привязку и навигацию для подводных аппаратов. Такие подводные станции могут быть оснащены как всплывающими (привсплывающими) буями, имеющих возможность связи с поверхности или глубины до 15 м в условиях сложной ледовой обстановки [31] с береговыми центрами, спутниковыми орбитальными группировками, надводными плавсредствами, пилотируемыми и беспилотными летательными аппаратами, так и сервисными устройствами, позволяющими обеспечить замену рабочего инструмента на борту используемого интервенционного аппарата или ТПА.

Подводные станции могут быть оснащены системами удаленного управления, что позволяет обеспечивать контроль и диагностику комплекса оператору, находящемуся на расстоянии до многих тысяч километров, как на сегодняшний день это демонстрируют с глубин до 1000 м на протяжении последних трёх лет телеуправляемые необитаемые подводные аппараты рабочего класса резидентного базирования «Liberty E-ROV» компании «Oceanering» на месторождениях компании «Equinor» в Северном море управляемые береговым оператором с расположенного на побережье Норвегии центра удалённого управления (Onshore Remote Operations Centers (OROC)) используя современные скоростные сети передачи информации (4g системы).

Таким образом, многие проблемы, связанные с океанографическими и морскими нефтегазовыми операциями, особенно на глубоководных участках, могут быть решены путем развертывания донной инфраструктуры обсерваторий с подсистемами подводной инспекции и мониторинга с повышенной устойчивостью. Среди преимуществ таких систем можно выделить:

- Возможность проведения экономически эффективного долгосрочного мониторинга с оперативной заменой и калибровкой датчиков и приборов с мобильных робототехнических платформ без необходимости дополнительного демонтажа/монтажа всей или наиболее значимых объектов донной инфраструктуры обсерваторий.

- Возможность проводить инспекционные проверки экспортных и внутрипромысловых трубопроводов, прочего оборудования донной инфраструктуры месторождения в строгом графике без привязки к «окнам» погоды и возможностям судов обеспечения.

- Способность быстро реагировать на требования и запросы сервисного обслуживания и контроля ПДК без потерь времени на моб/демок и переходы.

- Возможность подключения к приборам сети морского дна.

Как показано на *рис. 3*, донная станция способна обеспечить функционирование нескольких МРТК. В обеспечение базирования резидентной робототехники, станция оборудована модулями оптико-акустической связи и навигации, что позволит обеспечить точное позиционирование аппаратов в окрестности станции и достаточную дальнюю навигацию для выполнения миссий. На иллюстрации изображен сменный энергетический модуль и доковые отсеки для подзарядки МРТК, что позволяет обеспечить их диагностику, подзарядку, загрузку новых миссий и сня-

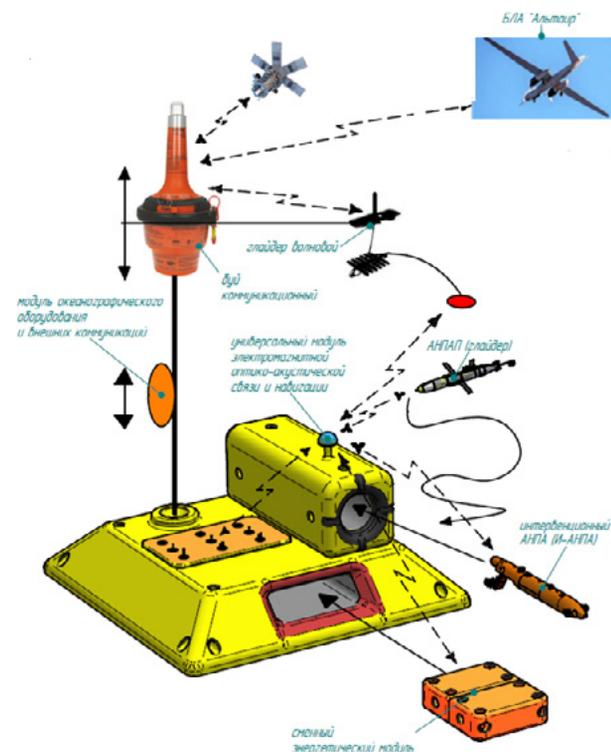


Рис. 3. концепция многофункциональной приборно-доковой подводной станции океанографической обсерватории с базированием глайдеров и интервенционных АНПА.

тие результатов отработанных миссий, а при необходимости и смену используемого инструментария. Следует отметить, что станции подобного рода могут быть реализованы в различных исполнениях, как донные стационарные, плавающего типа или имеющие собственную гусеничную платформу для перемещения. Как это реализовано у немецкой компании Geomar [32]

Для перекрытия значительных по протяженности и площади акваторий, организации работы групп аппаратов, является логичным развёртывание массива таких станций, образующих единую много-



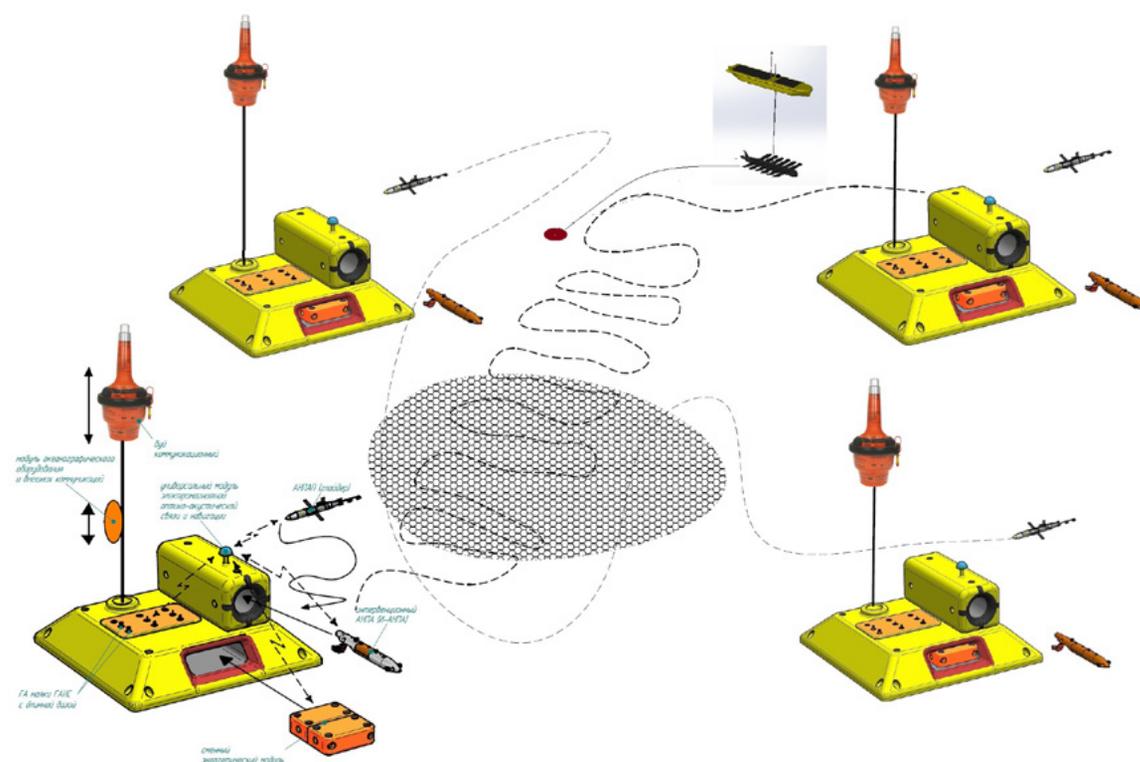


Рис. 4. Многофункциональная подводная обсерватория с модулями донных станций и группами гетерогенной робототехники резидентного базирования.

функциональную океанографическую обсерваторию, как это представлено на рис. 4.

Для управления многофункциональной подводной обсерваторией предусмотрено использование системы удаленного контроля и управления МРТК

как на базе 4g сетей (по аналогии с подходом ряда зарубежных компаний [33,34], схема применения такого подхода изображена на рис. 5), так и с интеграцией модулей в кабельные оптоволоконные сети и использовании для передачи информации кванто-

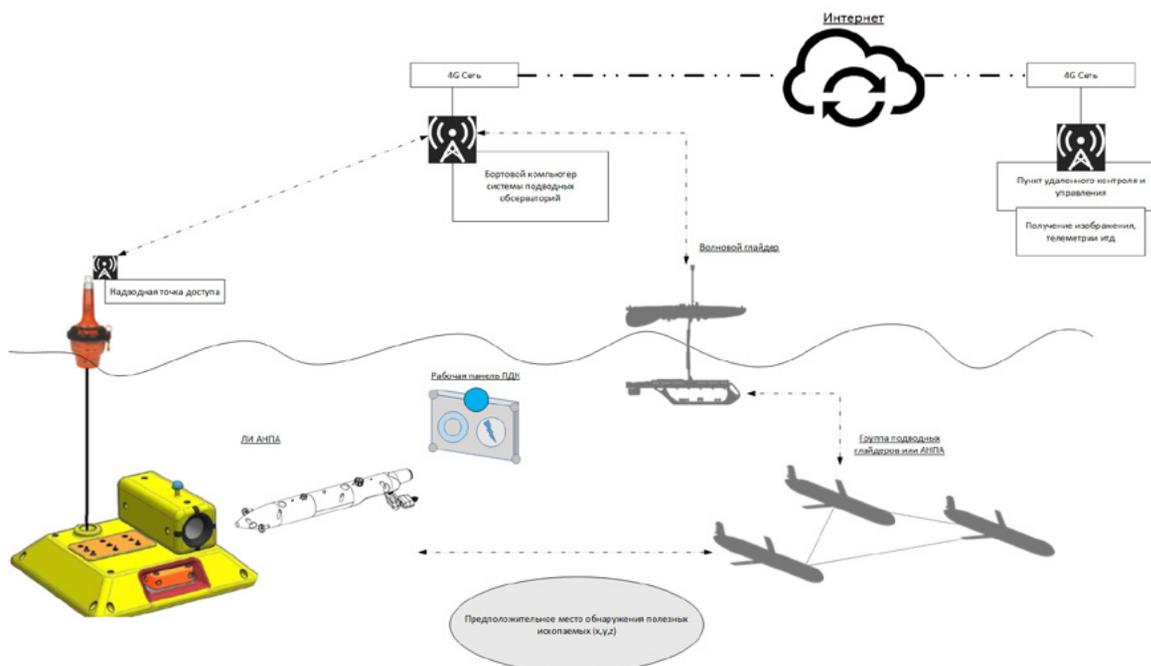


Рис. 5. Работа гетерогенных групп АНПА с сопряженной системой удаленного контроля и управления при использовании стационарного донного и надводного шлюзов-ретрансляторов.

вой связи, что одновременно с решением вопроса передачи необходимого объёма информации решает и вопрос защищённости канала связи от вмешательства третьих лиц.

На наземном пункте удалённого контроля и управления осуществляются работы по диагностике систем аппаратов, находящихся в док станции, анализируются данные выполненных миссии, формируется база данных полученной информации. Ведётся контроль информации от приборной базы океанографических обсерваторий и данных мониторинга и проверок состояния ПДК, получение данных телеметрии групп аппаратов, находящихся в процессе выполнения поставленных задач. Ещё одним важным моментом пункта контроля и управления является возможность осуществления прямого удалённого управления аппаратом, в случае выполнения сервисных работ манипуляторным комплексом в районе ПДК или выполнении задачи стыковки аппарата с доковой станцией. В виду такой многопрофильности и выполняемых работ удаленный пункт управления должен быть удобен и оснащён всем необходимым оборудованием, обеспечивающим комфортабельную работу операторов. Пример такого места операторов адаптированного под нужды МРТК представлен на *рис. 6*.



Рис. 6. Рабочее место операторов МРТК от компании ООО «ТД «Решение» [35].

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУППЫ АНПА

Для обеспечения работы группы АНПА с целью мониторинга и патрулирования акватории необходима тщательная проработка системы группового управления. Схема организации управления гетерогенной группой представлен на *рис. 7*.

На данной схеме группа АНПА на основании первичных данных или ретранслированных координат от GPS/ Глонасс систем, обеспечивает передачу данных с бортового оборудования каждого АНПА на общий сервер управления. Эта внутренняя система обеспечивающая формирование управляющих воздействий на формацию группы. Данный сервер при помощи обратной связи с наземным пунктом управления, получает команды от оператора, которые могут содержать в себе параметры новых миссий, передаваемых группе или внесение изменений в текущее задание. В рамках наземного пункта управления, при помощи данных от сервера управления, реализуется система планирования движения группы и система группового управления – СГУР



Рис. 7. Структурная схема системы группового управления гетерогенной группой робототехники.

(централизованная либо децентрализованная, в зависимости от поставленной задачи в генераторе миссии). Все данные также передаются на симулятор, в котором можно визуализировать и отобразить плановое и текущее состояние выполнения миссии.

Построение формации является важнейшей частью СГУР. В рамках формирования движения группы глайдеров или АНПА могут быть использованы следующие конфигурации группы:

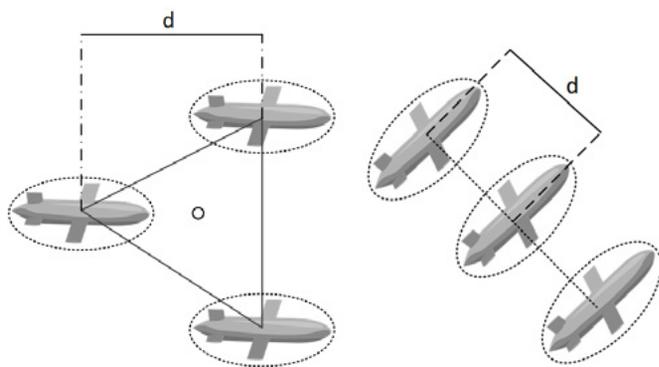


Рис. 8. Примеры возможных формаций МРТК.

На рис. 8 изображены примеры конфигурации группы на основании формирования АНПА прямолинейным фронтом или формировании геометрической формы с параметром d – расстояние между элементами группы. Формации могут иметь и другие формы и структуры. Все зависит от заявленных параметров и текущей задачи, которую необходимо выполнить группе. К примеру, формации, на основании принципа перемещения глайдеров, обеспечат движение группы по наклонно-восходящим поверхностям в трехмерном пространстве. Также могут быть применены спиралевидные формы движения, например, радиально расходящееся движение или движение формации по спирали Архимеда.

Примеры использования групп глайдеров описываются в статьях [36,37]. В том числе могут быть использованы различные связки применения разнородных глайдеров (подводных и волновых). Так могут быть реализованы наборы централизованных миссий, в которых группа подводных глайдеров (или АНПА) может выполнять различные миссии относительно движения волнового глайдера. Либо, волновой глайдер может вести слежение за движением формации группы подводных глайдеров (или АНПА) и выполнять координирующую и навигационную функцию.

Реализованное в ходе разработки концепции программное обеспечение позволяет выделять на исследуемой акватории полигоны известной формы и таким образом формировать необходимые области покрытия, определяемые галсами и используемыми техническими средствами. Функционал полностью настраиваемый, что позволяет варьировать такими переменными как частота и амплитуда галсов. Система планирования передает необходимые управляющие воздействия на аппараты, и они приступают к выполнению миссии. Примеры работы системы планирования для двух типов групповых миссий представлены на рис. 9.

Как показывают рисунки, система планирования успешно формирует целевые точки для СГУР глайдеров. На верхних иллюстрациях показана зависимость результатов деятельности системы планирования от изменения количества галсов волнового глайдера. На иллюстрациях ниже изображено совместно движение группы подводных глайдеров (или АНПА) в взаимосвязи с волновым глайдером (зеленая, центральная точка по середине формации). Подводные аппараты движутся в сторону целевой точки с координатами [20;30], и как видно система планирования успешно удерживает волновой глайдер в центре формации. Стоит учесть, что данная система является комбинированной, и в рамках решения задачи планирования пути, для группы подводных аппаратов используется децентрализованная система управления, которая учитывает в себе возможности обнаружения и обхода препятствий и движения в априори неизвестной недетерминированной среде, как это показано на рис. 10.

ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ РАБОТ
АО «НПП ПТ «Океанос» имеет достаточный практический, научно-теоретический и научно-практический задел в области подводной и резидентной робототехники, в том числе для применения в российской Арктике [39,40]:

- Реализован опытный образец подводного глайдера в классическом и гибридном исполнениях, который прошел целый ряд испытаний, в том числе в открытой морской воде.
- Реализован опытный образец подводного манипуляторного комплекса, который также прошел успешные натурные испытания в рамках выполнения работ по сервисному обслуживанию макета ПДК и пробоотбору грунта.

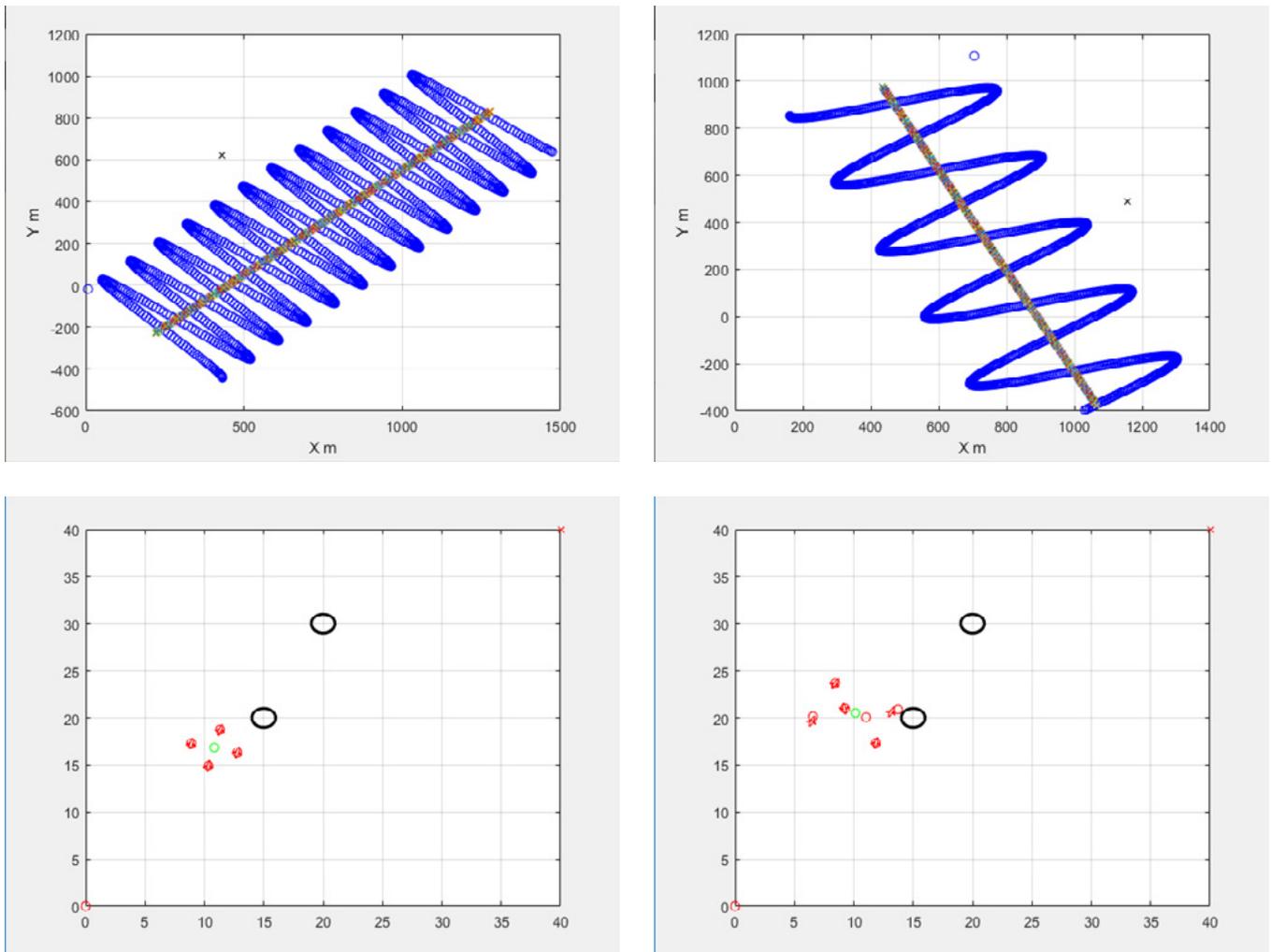


Рис. 9. Визуализация видов централизованного управления движения гетерогенной группы глайдеров.

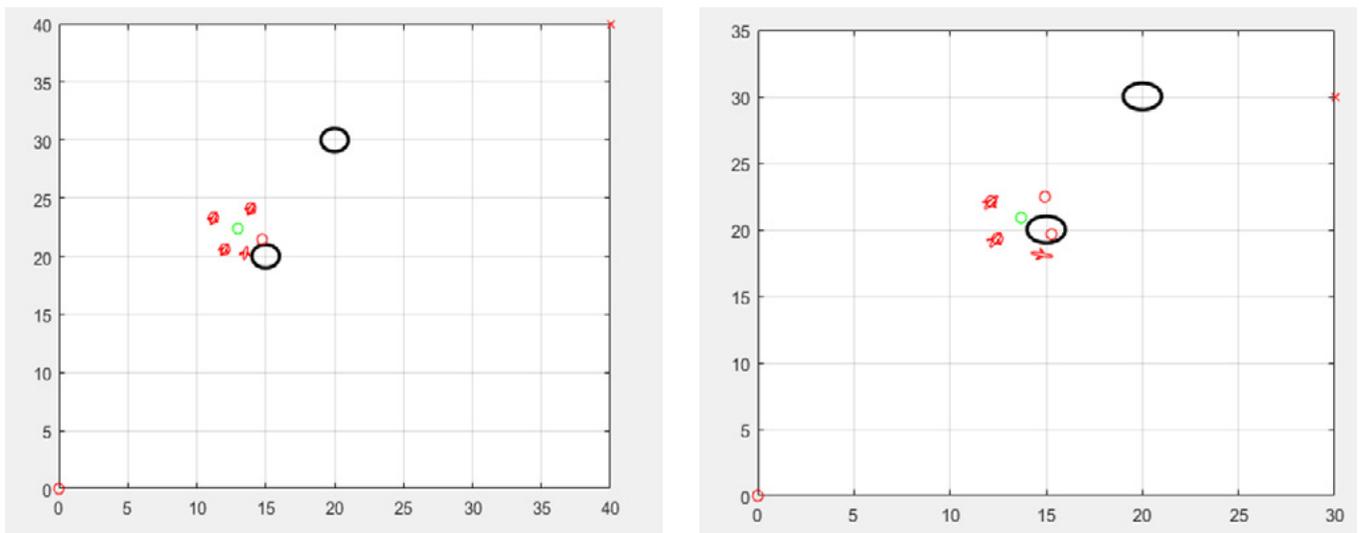


Рис. 10. обнаружение и обход препятствия группой из 4 АНПА.

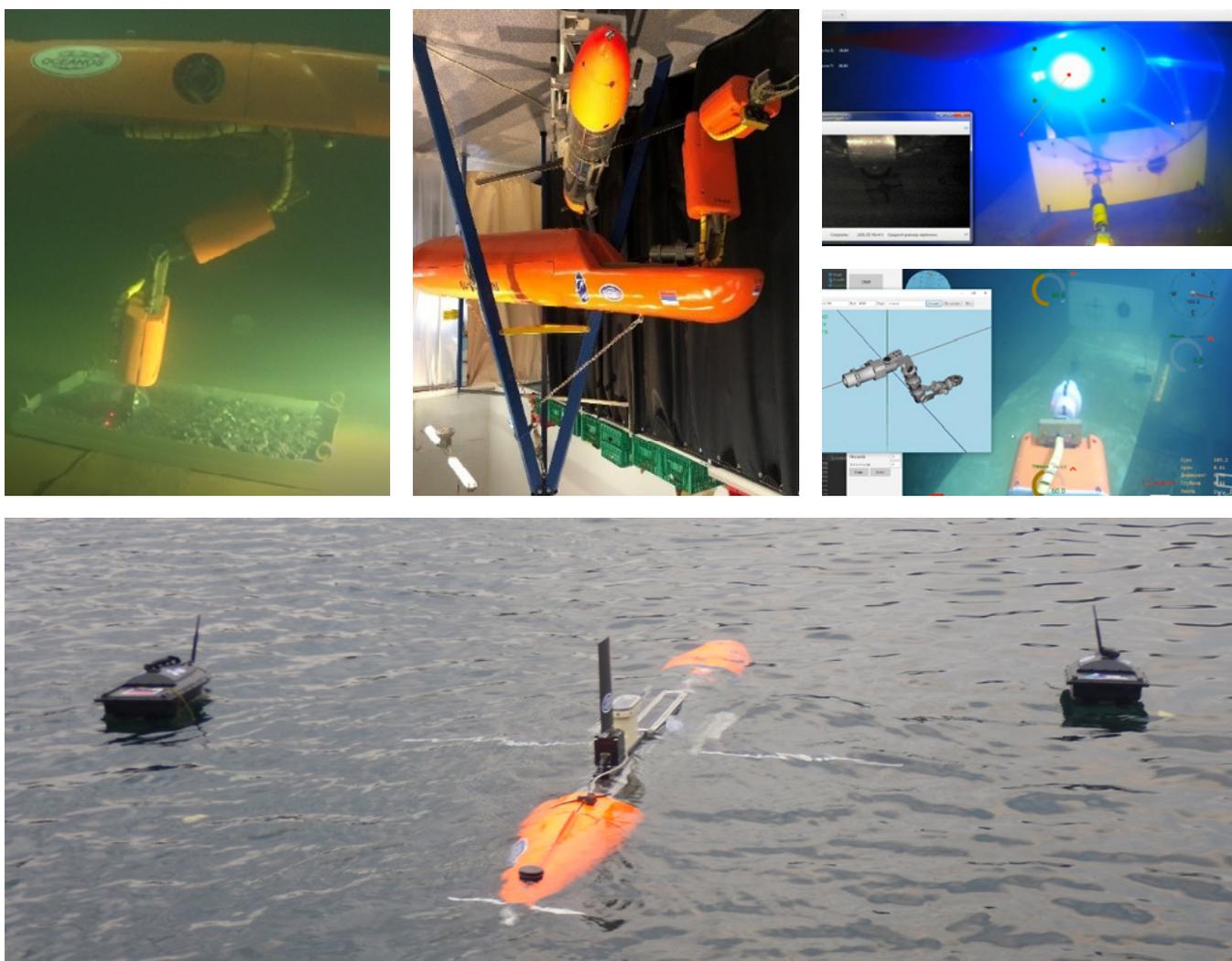


Рис. 11. Фотофиксация элементов научно-практического задела АО «НПП ПТ «Океанос» по всему спектру развиваемых технологий.

- Ведется активная работа над демонстратором технологии легкого интервенционного АНПА [41], объединяющего в себе многочисленные системы, не только для управления МК и движительной системы АНПА, но и системы оптической передачи информации, системы интеллектуального зрения и навигации, возможности бездвойстикового управления МК и т.д.

- Ведется разработка элементов групповой структуры в виде надводных безэкипажных лодок, для отработки и отладки разработанных алгоритмов группового управления;

- Реализовано унифицированное программное обеспечение, позволяющее организовать необходимое управление всеми элементами МРТК, получать данные телеметрии и производить диагностику и отладку необходимых компонентов.

- Сформирована необходимая элементная база для организации системы удаленного контроля и управления МРТК, а также получения телеметрии и иной информации от МРТК на дальних дистанциях в ходе выполнения экспериментов по дистанционному управлению группой гетерогенной робототехники.

Данные наработки и освоенные технологии [42], а также многолетний опыт разработки и эксплуатации МРТК позволяют разработчикам быть уверенными в том, что описанные авторами аспекты применения осуществимы в практических реалиях в ближне-срочном временном горизонте, а не только на бумаге результатами теоретических выкладок и востребованны не только конечным пользователем, но и многими предприятиями производителями в сфере политики диверсификации ОПК.

REFERENCES

1. Михайлов Д.Н., Сенин Р.Н. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для гидрографических исследований в охотском море *ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА* // №2(24), - Владивосток; Изд-во: ИПМТ ДВО РАН, 2017. - С.4-13.
2. Илларионов Г.Ю., Квашнин А.Г., Викторов Р.В. Применение автономных подводных роботов при отработке комплексов военно-морской техники и в боевой подготовке двойных технологий // №2 (55) 2011. - С.54-62.
3. Бабак Л.Н., Щербатюк А.Ф. Некоторые методы оценивания состояния водных акваторий с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов // *Мехатроника, автоматизация и управление*. - 2010. - №5. - С. 74-78.
4. Дулепов В.И., Щербатюк А.Ф. Современные технические средства в подводных экологических исследованиях. - Владивосток: Дальнаука, 2008. - 164 с.
5. Кожемякин И.В., Рождественский К.В. и др. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра (часть 1) морской вестник Издательство: ООО Издательство «МорВест» (Санкт-Петербург). -№ 1(45). -2013. - С. 113-177.
6. Кожемякин И.В., Рождественский К.В. и др. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра (часть 1) // Морской вестник Издательство: ООО Издательство «МорВест» (Санкт-Петербург). -№ 2(46). -2013. - С. 98-101.
7. <https://dfnc.ru/c108-novosti-2-1/besshumnaya-revolutsiya/> [дата обращения: 05.09.2020]
8. Гайкович Б.А. Автономные подводные аппараты с гидродинамическими принципами движения. / *Новый оборонный заказ. Стратегии*, 2013. - № 4 (26). - С. 4-6
9. Гайкович Б.А. Подводные глайдеры-роботы для исследования и мониторинга арктических акваторий. / *Корабел.ру*, 2015. - № 4 (30). - С. 126-12
10. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности // *Материалы 9 научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*, 2014. С.211-218.
11. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Вопросы разработки морских робототехнических платформ на примере создания подводного аппарата «Глайдер» // *Материалы 11 научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*, 2016. С.151-163.
12. Занин В.Ю. *Морская робототехника*, Нефтегаз, 2017, № 8.
13. Гайкович Б.А. *Разработка модульноунифицированного семейства подводных глайдеров. Новый оборонный заказ*, 2017, 05.
14. <https://oceanos.ru/news/266> (дата обращения: 05.09.20).
15. Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт. *Морские информационно-управляющие системы*, 2020 / No. 1 (17). С.-84-92.
16. Кульченко А.Е Гуренко Б.В Маевский А.М Групповое управление роботизированным мини-кораблем и вертолетом *Международное научное издание «современные фундаментальные и прикладные исследования»* -2016.- №3(22). -С. 36-42
17. Kulchenko A., Maevskiy A., Gurenko B., Kosenko O *Group Control of Robotic Mini Vessel and Helicopter Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation*. - ACM, 2016. - С. 66-71. doi: 10.1145/3029610.3029647
18. Мартынова Л.А, Конюхов Г.В, Пашкевич И.В, Рухлов Н.Н Особенности группового управления АНПА при ведении сейсморазведки // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2017. №9 (194). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-grupпового-upravleniya-anpa-pri-vedenii-seysmorazvedki> (дата обращения: 05.09.2020).
19. Маевский А.М., Копылов С.А. Аспекты использования группировки подводных глайдеров для экологического мониторинга мирового океана *Материалы всероссийской конференции и школы молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности»* - Таганрог: Южный Федеральный Университет, 2014, - С. 11-12.
20. Пшихопов В. Х. , Медведев М. Ю. , Гуренко Б. В. *Методы автоматического управления морскими подвижными объектами: монография*. 2016. С.264.
21. Boris G., Kulchenko A., Maevskiy A., Beresnev M *The Structure of Automatic Control Systems for Underwater Gliders Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation*. - ACM, 2016. - С. 88-91. doi: 10.1145/3029610.3029640
22. Pshikhopov V.Kh Medvedev M. Y., Gurenko B.V. Maevskiy A.M *Development of indirect adaptive control for underwater vehicles using nonlinear estimator of disturbances Proceedings of the 2014 International Conference GSAM 2014*
23. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов: монография* - Москва: Физматлит, 2009

24. Гайдук А.Р., Каляев И.А., Капустян С.Г., Кухаренко А.П. Модели и методы управления большими группами роботов // Учебное пособие. 2014. С.108.
25. <https://www.hydro-international.com/content/news/aquabotix-releases-swarmdiver-micro-usv-uuv?output=pdf> (дата обращения: 05.09.20).
26. <https://www2.who.edu/site/marinerobotics/wp-content/uploads/sites/32/2019/07/AQUABOTIX-Flash-Talk.pdf> (дата обращения: 05.09.20).
27. Schmickl, Thomas & Thenius, Ronald & Mostlinger, Christoph & Timmis, Jon & Tyrrell, Andy & Read, Mark & Hilder, James & Halloy, Jose & Campo, Alexandre & Stefani, Cesare & Manfredi, Luigi & Orofino, Stefano & Kernbach, Serge & Dipper, Tobias & Sutanty, Donny. (2011). CoCoRo - The self-aware underwater swarm. SASO 2011 - Fifth IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems. 120-126. 10.1109/SASOW.2011.11.
28. 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.
29. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Научно-технический сборник вестей газовой науки. №2(39). -2019. -С.-29-40.
30. 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:ФГБУНМГИ.–Режимдоступа:http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный, - 2019. – С. 395-398.
31. Изделие «Акция» <https://www.rosmorservis.ru/products> (дата обращения: 05.09.20).
32. [http://www.ofeg.org/np4/%7B\\$clientServletPath%7D/?newsId=66&fileName=Bialas_AUVs_.pdf](http://www.ofeg.org/np4/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=66&fileName=Bialas_AUVs_.pdf) (дата обращения: 05.09.20).
33. <https://www.bctechnology.com/news/2012/1/30/Ocean-Works-Contracted-by-Harris-CapRock-Communications-for-Delivery-of-Two-High-Power-Nodes.cfm> (дата обращения: 05.09.20).
34. <https://www.offshore-mag.com/home/article/16804684/p2-continued-resident-auv-system-with-subsea-dock-in-development> (дата обращения: 05.09.20).
35. <https://arm-r.ru/> (дата обращения: 05.09.20).
36. Leonard, N.E., Paley, D.A., Davis, R.E., Fratantoni, D.M., Lekien, F. and Zhang, F. (2010), Coordinated control of an underwater glider fleet in an adaptive ocean sampling field experiment in Monterey Bay. *J. Field Robotics*, 27: 718-740. doi:10.1002/rob.20366
37. Chao, Yi, Li, Zhijin, Farrara, John D., Moline, Mark A., Schofield, Oscar M. E., Majumdar, Sharanya J., (2008), Synergistic applications of autonomous underwater vehicles and the regional ocean modeling system in coastal ocean forecasting, *Limnology and Oceanography*, 53, doi: 10.4319/lo.2008.53.5_part_2.2251.
38. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/f8ZpjhpAaQ0WB1zjywN04OgKil1mAvaM.pdf> (дата обращения: 05.09.20).
39. Применение подводных глайдеров для геолого-разведки // *RoboTrends* [электрон. ресурс]. – <http://robotrends.ru/pub/1837/primenenie-podvodnyh-glyayderov-dlya-geologorazvedki> (дата обращения: 10.08.20).
40. Гайкович Б. А., Занин В. Ю., Тарадонов В. С., Блинков А. П., Кожемякин И. В., Токарев М. Ю., Бирюков Е. А. Концепция роботизированной подводной сейсморазведки в подлёдных акваториях // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018 года. С.64-87.
41. Маевский А.М., Занин В.Ю. Кожемякин И.В. Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным анпа на основании поведенческих методов// *Известия ЮФУ. Технические науки Izvestiya sfedu. engineering sciences*. № 1 (211), – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. – С. 119-134.
42. 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. -2019. – С.14-22.

ЛАУРЕАТЫ ТРЕТЬЕЙ ПРЕМИИ



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ТЕХНИКИ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И АРКТИКИ

*Авторский коллектив:
Москвичев Владимир Викторович,
Черняев Анатолий Петрович,
Чернякова Наталья Александровна,
Волохов Григорий Михайлович,
Оганьян Эдуард Сергеевич,
Князев Дмитрий Александрович,
Махутов Николай Андреевич,
Резников Дмитрий Олегович,
Слепцов Олег Ивкентьевич.*

Перспективные планы развития и реализации крупных инвестиционных проектов в регионах Сибири и Арктики должны быть увязаны с решением комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных задач в области создания и организации массового производства техники северного исполнения. Данная постановка является основополагающей для развития базовых отраслей промышленности, создания объектов технологического (нефтегазовый комплекс, энергетика, транспорт, технологические машины) и инфраструктурного (системы жизнеобеспечения, строительный комплекс) назначения на территориях Арктической зоны РФ. Решение стратегических задач развития этих регионов во многом будет определяться наличием необходимого количества машин, конструкций и технических систем нового поколения как результат реализации комплекса организационно-управленческих задач в области массового производства техники северного исполнения.

Актуальность проекта определяется реализацией обозначенной проблемы и необходимостью перехода на новые принципы создания техники северного исполнения на всех этапах жизненного цикла с учетом низкотемпературных условий эксплуатации, технологической и эксплуатационной дефектности, обеспечивающих повышенный уровень конструкционной прочности, хладостойкости, живучести и надежности.

Работа представляет собой сочетание фундаментальных, прикладных и поисковых исследо-

ваний, включая разработку инновационных производственных технологий, проведение массовых испытаний конструкционных материалов и формирование актуализированной нормативно-технической базы с целью создания техники повышенной хладостойкости и надежности для эксплуатации в условиях Крайнего Севера и Арктики. Проект имеет межотраслевую направленность (машиностроение, энергетика, транспорт, разработка природных ресурсов, технологические машины и оборудование, строительные конструкции и инженерные сооружения и т.д.) в создании сложной, наукоемкой техники и технологий на базе научно-технических разработок расчетно-экспериментальных методов, обеспечивающих требуемые характеристики конструкционной прочности, ресурса, живучести и надежности.

Основные задачи проекта: 1) развитие расчетно-экспериментальных методов механики деформирования и разрушения; 2) внедрение инновационных производственных технологий (нанопорошковые, сварочные, контроля технического состояния); 3) проведение массовых испытаний конструкционных материалов и натурных стендовых испытаний новых образцов техники; 4) формирование актуализированной нормативно-технической базы расчетов и испытаний на прочность в области создания техники северного (арктического) исполнения.

Ретроспективное рассмотрение проблемы создания техники северного (арктического) исполнения на всех этапах промышленного освоения Сибири и Арктики обозначило необходимость решения ряда

приоритетных задач, связанных с высоким уровнем аварийности и пониженной хладостойкостью машин и конструкций при низких температурах (рис. 1). Анализ причинно-следственного комплекса отказов техники показал резкое снижение основных эксплуатационных показателей, особенно в зимний период, при этом производительность труда снижается в 1,5...2 раза, наработка на отказ уменьшается в 2...3 раза, затраты на ремонтно-восстановительные работы повышаются в 5...8 раз, а фактический ресурс сокращается в 2...3 раза, коэффициенты отказа составляют 0,45...0,7. Прямые ежегодные потери от необеспеченности показателей прочности, хладостойкости, ресурса достигают более 1,0 млрд руб., а косвенные потери превышают прямые в 3...4 раза. Рассмотрение авторами проекта причин, типов и факторов отказов строительных металлоконструкций, горнодобывающей техники, резервуаров для хранения нефтепродуктов, объектов железнодорожного транспорта и других видов технологических машин и оборудования выявило роль низкотемпературного фактора, технологической и эксплуатационной дефектности (дефекты сварки, прокатки, трещины), несоответствие выбора и низкое качество металла, недостаточность соответствующей нормативно-технической базы в области проектирования, производства и эксплуатации техники северного (арктического) исполнения.

На основе анализа статистических данных об отказах и авариях в условиях низких климатических температур обозначены задачи расчетно-экспериментального комплекса:

- Развитие расчетно-экспериментальных методов механики деформирования и разрушения, включая исследования характеристик механических свойств и трещиностойкости, анализ напряженно-деформированных и предельных состояний, моделирование кинетики повреждений, разрушения материалов и конструкций.
- Развитие методов анализа и технологий обеспечения живучести и безопасности технических систем, включая моделирование аварийных ситуаций, оценку и прогнозирование показателей остаточного ресурса, живучести и безопасности, технологические и эксплуатационные технологии обеспечения безопасности.
- Разработка нормативно-технических документов в области испытаний конструкционных материа-



Рис. 1. Примеры разрушений техники в условиях Сибири и Крайнего Севера. Наверху – разрушение козлового крана грузоподъемностью 10 тс при -32°C (2002 г.); посередине – разрушение газопровода Матах–Берге–Якутск при -50°C (протяженность разрушения – 3,3 км, диаметр трубы – 530 мм, давление 35 ат, 1987 г.); внизу – разрушение стрелы шагающего экскаватора ЭШ-10/70 при -30°C (1992 г., Красноярский край)

лов и расчетов на прочность, остаточный ресурс, надежность и безопасность сложных технических систем.

Коллективом авторов для их решения получены следующие результаты: 1) сформулированы концеп-

ция и новые виды предельных состояний для техники и конструкций северного (арктического) исполнения; 2) по результатам массовых испытаний получены характеристики механических свойств и трещиностойкости в широком диапазоне низких температур; 3) разработан ряд методов расчетов машин и конструкций на трещиностойкость; 4) разработаны технологии повышения конструкционной прочности с применением нанопорошковых материалов при изготовлении литых и сварных изделий (рис. 2), технологические условия, режимы и материалы для сварки при низких температурах; 5) выполнен огромный объем диагностических работ с оценкой остаточного ресурса и надежности объектов техносферы Сибири и Арктики; 6) создана экспериментальная база натурных испытаний элементов конструкций и конструкционных материалов при низких температурах (рис. 3; 4).

Экономическая эффективность проекта обеспечивается снижением уровня аварийности, затрат на ремонт и восстановление техники и конструкций, эксплуатирующихся в арктических регионах России, увеличением ресурсных характеристик и показателей надежности техники северного исполнения.

В странах ЕС, США, Японии отсутствует общая методология и нормативная база проектирования и эксплуатации техники в условиях Крайнего Севера и Арктики. Данные вопросы решаются на стадии проектирования отдельных конкретных объектов, машин и оборудования с обеспечением требуемых характеристик, с более высокими показателями в отличии от отечественных аналогов. Результаты выполнения представленного проекта позволят обеспечить приоритеты российской техники и снизить импортную зависимость страны в этой области путем наращивания объемов производства отечественной техники и сокращения зарубежных поставок (рис. 5).

Дальнейшие исследования предполагают получение следующих результатов:

- развитие расчетно-экспериментальных методов и конструктивно-технологических решений для создания техники северного (арктического) исполнения на основе многокритериальных и многовариантных оптимизационных расчетов для штатных и аварийных условий эксплуатации с учетом влияния низких температур, технологической и эксплуатационной дефектности;

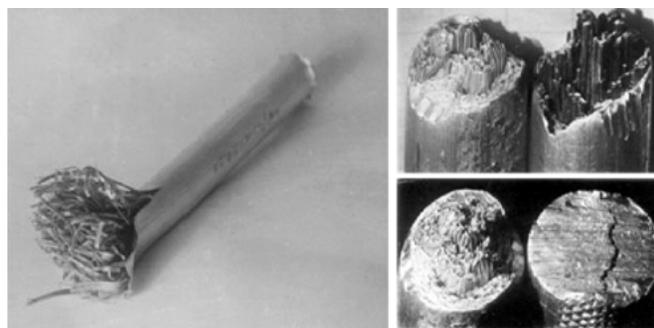


Рис. 2. Пруток, отпрессованного из частиц алюминиевого сплава Д1 и нанопорошка карбонитрида титана.

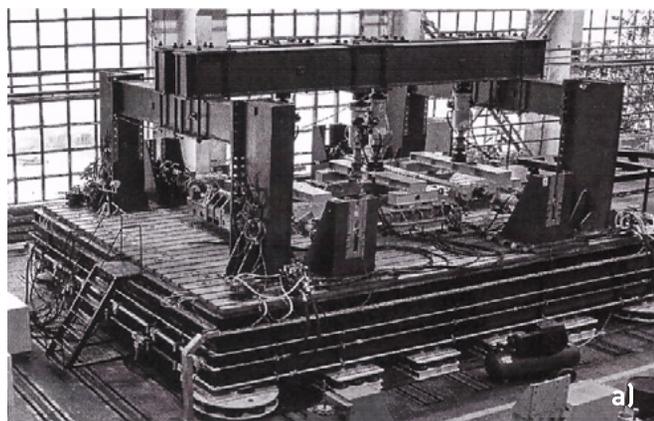


Рис. 3. Экспериментальные исследования при нормальных и низких температурах. Стендовые испытания рамы тележки тепловоза на усталость при действии эксплуатационных нагрузок (а); лабораторные испытания образцов при низких и криогенных температурах (б); измерения локальных деформаций.

- формирование единой межотраслевой нормативной системы критериев прочности, методов расчета и продления ресурса технических систем, оборудования, машин, инженерных сооружений и конструкций путем нормативного регулирования на всех этапах жизненного цикла в течение заданного срока эксплуатации и проведения постоянного мониторинга.



Рис. 5. Блок-схема стратегии и объектов развития техники для освоения Сибири и Арктики

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Авторский коллектив:

*Гриняев Сергей Николаевич,
Самарин Илья Вадимович,
Калашников Павел Кириллович,
Сочнева Инна Олеговна,
Медведев Дмитрий Андреевич.*

Как показал первый опыт освоения морских месторождений, расположенных в акваториях замерзающих морей, прямой перенос технологий и техники, разработанных для обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений в других районах Мирового океана, в арктическую и субарктическую действительность не всегда является оптимальным решением.

К особенностям относятся добычи углеводорода в Арктике относятся:

- экстремальные природно-климатические условия (полярная ночь, сильные ветра в сочетании с низкими температурами воздуха, частые магнитные аномалии в атмосфере и т.д.);
- наличие ледяных образований различной природы (айсберги, ледяной покров различной сплошности);
- значительная (до 600 км) удаленность баз снабжения и практическое отсутствие инфраструктуры для обеспечения работ по освоению шельфовых месторождений;
- высокая чувствительность арктической экосистемы к техногенным воздействиям.

Научно-технологическое обеспечение работ по освоению углеводородных ресурсов этого региона, помимо исследований, обеспечивающих развитие техники и технологий для шельфовых месторождений южных и умеренных широт, должно быть дополнено исследованиями влияния перечисленных выше факторов на показатели надежности и эффективности технических устройств, сооружений и технологий, которые необходимы для рентабельного

освоения шельфовых месторождений нефти и газа в Арктике.

Анализируя применимость различных способов обустройства для шельфовых месторождений, можно отметить следующее. По мере удаления местоположения подводных залежей углеводородов от береговой линии и роста глубины моря приходится искать замену надземному и надводному способам обустройства, поскольку протяженность горизонтальных скважин в настоящее время ограничена 15-ю км, а размещение ледостойких гидротехнических сооружений на глубинах свыше 50 м экономически нецелесообразно.

Использование комбинированного вида обустройства требует создания более дорогостоящих по сравнению с классическими плавучими платформами ледостойких технологических платформ, обладающих способностью либо противостоять воздействию крупных ледовых образований, включая айсберги, либо имеющих возможность самостоятельно отсоединиться от систем добычи и отойти на безопасное расстояние в случае возникновения ледовой угрозы. Большая часть эксплуатационных проблем при комбинированном обустройстве месторождения связана с технологической платформой. Стоимость технологических платформ ледового класса составляет свыше 50% от всех капитальных затрат на обустройство морского месторождения.

Кроме того, ряд перспективных районов арктического и субарктического шельфа имеет ледовый покров до 9 месяцев в году. При этом ледовые поля обладают значительной подвижностью и массой в десятки миллионов тонн. Любые плавучие средства,

находясь в таком районе в зимний период, будут подвергаться сверхвысоким ледовым нагрузкам, что фактически означает невозможность их использования.

В связи с этим круглогодичная эксплуатация месторождений, расположенных в акваториях замерзающих морей, включая арктический и субарктический шельф, с использованием комбинированного вида их обустройства связана с очень высокими капитальными вложениями, либо вообще невозможна.

Таким образом, единственным вариантом обустройства морских месторождений на акваториях замерзающих морей с глубинами свыше 50 м, с удаленностью от береговой линии свыше 15 км и со сложной ледовой обстановкой является подводный вид обустройства.

Отечественными научно-исследовательскими институтами, конструкторскими бюро, заводами-изготовителями были достигнуты несомненные успехи в освоении критических технологий производства оборудования для систем подводной добычи углеводородов, к которым относятся изготовление деталей трубопровода сложного профиля из порошковых материалов марки SuperDuplex методом горячего изостатического прессования, наплавка коррозионностойких сплавов на внутренние поверхности и механическая обработка сложного профиля (данная технология позволяет сформировать поверхность с содержанием железа менее 5%, обеспечивающую коррозионную стойкость к пластическому флюиду при заданных условиях эксплуатации в течение всего срока службы), сварка трубопроводов большого диаметра из двухфазных нержавеющих сталей марки SuperDuplex, нанесение фторполимерных покрытий на крупногабаритные детали и др.

Успешное проведение опытно-промышленных испытаний отечественного оборудования СПД даст возможность использовать его при обустройстве Южно-Кириинского ГКМ, а в дальнейшем – на Штокмановском и других месторождениях, которые планируется осваивать с применением подводного типа обустройства.

Очевидно, что развитие подводных технологий добычи приведет к доработке существующих квалификационных требований и профессиональных стандартов. В частности, учитывая развитие безлюдных технологий в подводной нефтегазодобыче особое значение будут иметь навыки и умения управления процессами в дистанционном формате с использованием продвинутых цифровых технологий.

Как показывает анализ, подводные добычные комплексы представляют перспективный тренд в освоении арктических месторождений. Однако для эффективного применения СПД на шельфе российской Арктики необходимо совершенствование законодательной базы применения СПД на арктическом шельфе, развитие соответствующей отечественной научно-исследовательской, опытно-конструкторской, производственно-испытательной инфраструктуры, решение проблемы кадрового дефицита, в частности, с помощью повышения квалификации и профессионально переподготовки сотрудников для работы на СПД.

В ближайшей перспективе можно будет говорить о создании в России новой индустрии, выпускающей и обслуживающей оборудование СПД, в которой международная кооперация будет минимальна, учитывая уже известные и потенциальные санкционные риски. Необходимо в кратчайшие сроки выстроить цепочки отечественных поставщиков и наладить проектирование и серийное производство на территории РФ всей линейки оборудования СПД: манифольдов, оконечных устройств трубопроводов, системы подводных колонных головок, шлангокабеля, оборудования системы управления, подводной фонтанной арматуры и т.д. Не стоит также забывать и специализированном оборудовании для обслуживания СПД: системе доступа в скважину, камере приема – запуска очистных и диагностических устройств и др. Для выполнения всех заявленных планов по подводному обустройству месторождений потребуются новые буровые платформы, суда-трубоукладчики, специализированные вспомогательные суда и подводные телеуправляемые аппараты различного класса и назначения.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БЫСТРОВЗВОДИМЫЕ ВЫСОКОУСТОЙЧИВЫЕ ДОРОГИ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ ЗОН

*Авторский коллектив:
Трофимов Валерий Иванович,
Джабаров Амирджон Султонджонович.*

При возведении автомобильных и железных дорог в условиях Арктики необходимо учитывать суровые природно-климатические условия строительства, вечномёрзлое состояние грунтов и высокую себестоимость работ. Кроме учета особенностей грунтовых условий, влияющих на устойчивость дорог, необходимо совершенствовать и их конструкции, особенно в случае вынужденной отсыпки насыпи из некондиционных высокольдистых тонкодисперсных грунтов, повсеместно распространенных в этих районах.

В представленной статье рассматриваются вопросы совершенствования технологий строительства автомобильных и железных дорог в сложных инженерно-геологических условиях арктических зон. Предложены новые оригинальные конструкции дорожных насыпей повышенной устойчивости, позволяющие при этом значительно сократить объем грунта для их отсыпки. Разработаны технологии ускоренного строительства дорог, предложено и обосновано применение способа структурного уплотнения насыпи при ее отсыпке из сыпучемерзлой фиброгрунтоцементной смеси.

Ключевые слова: насыпь, высокольдистый грунт, строительство дорог.

Одним из важнейших условий эффективного обустройства северных территорий является ускоренное строительство широкой сети дорог.

Кроме суровых климатических условий арктические территории отличаются широким распространением высокольдистых и в особенности тонкодисперсных грунтов, которые являются наиболее сложными и опасными с точки зрения строительства. Такие грунты в процессе оттаивания переходят в структурно-неустойчивое состояние. Дорожные насыпи и площадки, отсыпаемые из таких грунтов, подвержены сильным деструктивным процессам, приводящим к их разрушению [1].

Высокая стоимость строительства и повышенная трудоемкость возведения транспортной инфраструктуры на мерзлых грунтах требуют разработки новых проектных решений.

РЕШАЕМАЯ ПРОБЛЕМА И АКТУАЛЬНОСТЬ.

Суровые природно-климатические условия, повсеместное распространение многолетнемерзлых тонкодисперсных грунтов, переходящих в структурно-неустойчивое состояние при оттаивании, отсутствие в достаточном количестве кондиционных грунтовых материалов, необходимых для ускоренного развития транспортной сети, сдерживают широкомасштабное освоение арктических территорий. Возникла серьезная проблема, затрагивающая экономическую безопасность России. Поэтому решение проблемы повышения эффективности строительства дорог в арктических зонах является в настоящее время актуальным.

Можно выделить три основные составляющие проблемы, негативно влияющие на эффективность транспортного строительства в Арктических зонах: широкое распространение структурно-неустойчивых высокольдистых тонкодисперсных грунтов; использование технологий и технических решений, не отвечающих, в полной мере, условиям и современным требованиям строительства на таких сложных грунтах; сезонность выполнения строительных работ и высокая стоимость возводимых дорог и аэродромов.

ЗАДАЧИ, ТРЕБУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ.

Решение общей проблемы повышения эффективности транспортного строительства на высокольдистых тонкодисперсных грунтах в Арктических зонах, в частности дорожного строительства, предлагается осуществлять на комплексном подходе с решением следующих задач: разработка технологий быстровозводимых дорог, совершенствование конструкций дорожных насыпей с уче-

том строительства на высокольдистых грунтах и использования некондиционных грунтовых материалов, разработка новых технических решений по структурному упрочнению насыпи и цементно-бетонного покрытия на основе комплексного использования новой фибры повышенного сцепления: (микросеток или многоанкерной фибры).

Предлагаются следующие технические решения.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОКОУСТОЙЧИВОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.

Предложена конструкция насыпи с использованием полимерных обойм, заполняемых на технологической площадке некондиционным высокольдистым тонкодисперсным грунтом, с последующей их укладкой в откосы и в основание насыпи (патент 2379405) (рис. 1). Другая конструкция насыпи выполняется с вертикальными изолированными между собой с помощью непроницаемых геополотниц слоями, что позволяет варьировать видами грунтовых материалов, в том числе некондиционными, для различных зон насыпи обеспечивая ее повышенную устойчивость (патенты 2360063, 2378446) (рис. 2).

По первому варианту в качестве полимерных обойм могут быть использованы, например, большие мешки – биг-бэги.

При отрицательной температуре окружающего воздуха насыпь, возведенная на мерзлом основании 1, будет сохранять свое замороженное состояние, т.е. будет находиться в динамическом равновесии.

При прогреве воздуха до положительной температуры откосы 7 насыпи будут в первую очередь подвергаться воздействию теплового излучения. В этом случае могут оттаивать отдельные зоны откоса, но оттаявшая вода будет оставаться в непроницаемых объемных элементах 7, т.е. будет отсутствовать нежелательный процесс фильтрации воды, который приводит, как правило, к размыванию – разрушению откоса 7. При этом, возможно оперативно заменять мешки–биг-бэги с оттаявшим грунтом.

По второму варианту насыпь отсыпается в виде вертикальных слоев – полос. В этом случае полосы – внутренняя и крайние отсыпается по отдельности с покрытием внутреннего вертикального слоя непроницаемыми геополотницами для его изолирования от крайних вертикальных слоев (рис. 2).

Возведение насыпи на мерзлом грунте осуществляют следующим образом.

Расчищают поверхность основания 1 трассы будущей дороги.

Сначала в зимних или летних условиях отсыплют внутренний вертикальный слой – внутреннюю полосу 2 из некондиционного высокольдистого грунта (например, мерзлая супесь или мерзлый суглинок). После этого укладывают непроницаемые (нефильтрующие) геополотница 4 по откосам внутренней полосы 2, защищая тем самым крайние полосы. Затем зимой отсыплют крайние продольные полосы 3 из предварительно приготовленной сыпучемерзлой фиброгрунтоцементной смеси на основе некондиционного дробленого высокольдистого грунта. После этого отсыплют сверху слой дренирующего грунта 5 и укладывают упрочненное цементно-бетонное полотно 6.

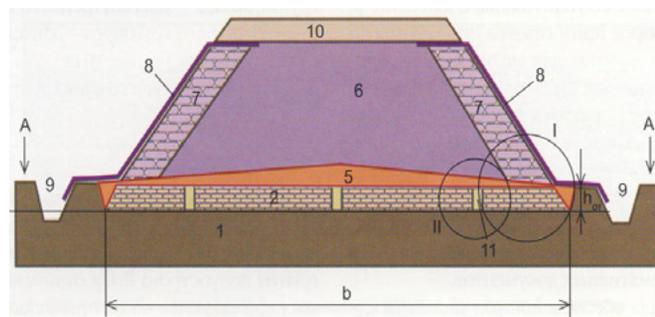


Рис. 1. Конструктивная схема заглубленной многослойной насыпи на мерзлом грунте: 1 – мерзлое основание; 2 – траншея; 5 – теплоизоляционный слой; 6 – тело насыпи из некондиционного высокольдистого грунта; 7 – откосы из непроницаемых объемных элементов; 8 – нефильтрующие геополотница; 9 – дренажные каналы; 10 – дренажный слой; 11 – вентиляционные щели.

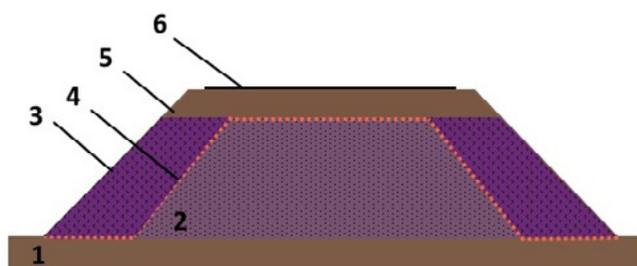


Рис. 2. Вертикально слоистая конструкция насыпи на мерзлом основании: 1 – мерзлое основание; 2 – внутренняя полоса; 3 – крайние полосы; 4 – геополотница; 5 – слой дренирующего грунта; 6 – цементно-бетонное полотно.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРУКТУРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НАСЫПИ.

Одним из эффективных путей решения обозначенной проблемы является использование метода повышения структурной прочности мерзлой грунтовой системы в случае ее оттаивания, путем укрепления структуры грунта вяжущими веществами и дисперсно армирующими элементами.

В основе разработанного нового метода лежит идея использования вяжущих веществ и дисперсного армирования с включением новой композитной фибры [2,3]. Для этого было предложено готовить сухую сыпучемерзлую фиброгрунтоцементную смесь на основе дробленой мерзлой крошки из тонкодисперсного высокольдистого грунта. Такая смесь в зимний период может свободно складироваться и по мере необходимости вывозиться для отсыпки насыпи.

При оттаивании такой смеси и гидратации цемента происходит формирование новой упрочненной структуры в виде фиброгрунтоцементной композиции, являющейся, по сути, искусственным гравием с выступающими на его поверхности волокнами фибры, моделирующей работу песчано-гравийной смеси.

Были выполнены лабораторные испытания по обоснованию технологии структурного упрочнения насыпи из высокольдистых грунтов.

Были выполнены исследования по улучшения структурно-механических свойств высокольдистых грунтов за счет введения в их состав вяжущего и новых дисперсных волокон в виде композитной многоанкерной фибры [4,5].

Как и ожидалось, выполненные исследования доказали существенное упрочняющее влияние композитной многоанкерной фибры на структуру грунтоцементной смеси. Так включение в состав супеси с цементом 5% многоанкерной фибры увеличивает удельное сцепление, определяющее структурную прочность фиброгрунтоцементной композиции, в 3-4 раза (рис. 3, рис. 4).

Повышение структурной прочности грунтоцементной композиции при введении в нее армирующих волокон в виде полимерной многоанкерной фибры объясняется, во-первых, проявлением повышенного армирующего эффекта за счет наличия у фибры множества поперечных волокон – анкеров, препятствующие развитию сдвиговых процессов в грун-

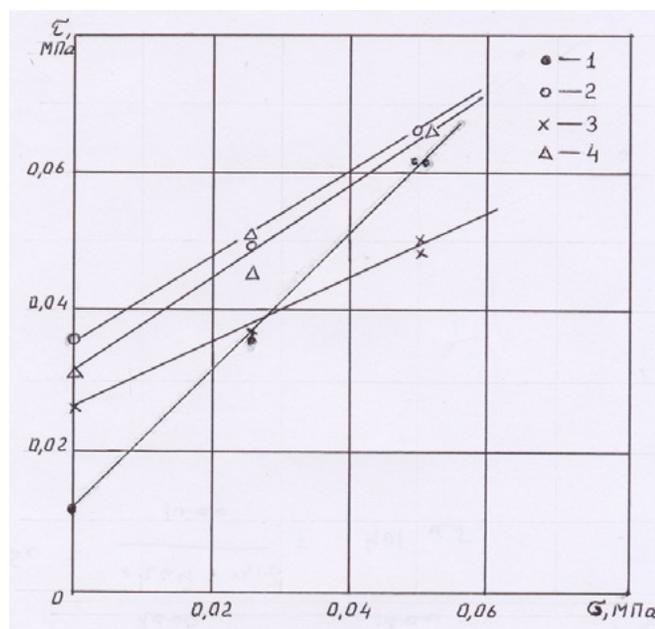


Рис. 3. Зависимость сопротивления сдвига от давления фиброгрунтоцементной композиции при содержании многоанкерной фибры: 1 – 0%; 2 – 5%; 3 – 15%; 4 – 30%.

товой отсыпки насыпи при ее нагружении, а во-вторых, за счет формирования новых структурных образований в виде фиброгрунтоцементной композиции, образующаяся при гидратации цемента в форме искусственного гравия с волокнистыми включениями, что также повышает сопротивляемость грунтовой структуры насыпи разрушению.

Результаты исследования и проведенные на их основе предварительные расчеты позволяют сделать вывод, что использование фиброгрунтоцементных смесей на основе супеси позволяет возводить насыпи высотой до 5 м с повышенной крутизной откосов [6].

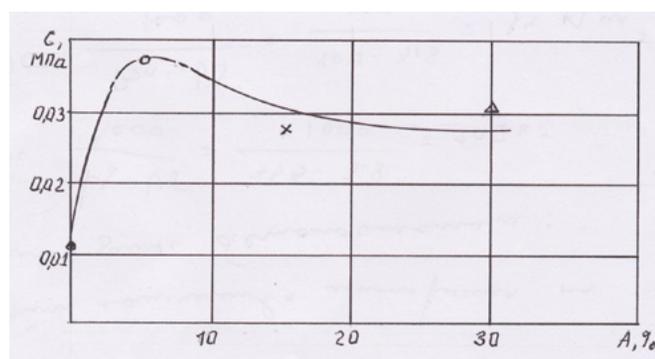


Рис. 4. Зависимость удельного сцепления фиброгрунтоцементной композиции от содержания многоанкерной фибры.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЫПУЧЕМЕРЗЛОЙ ФИБРОГРУНТОЦЕМЕНТНОЙ СМЕСИ.

Обеспечить получение больших объемов сухой фиброгрунтоцементной смеси еще и в непрерывном режиме по существующей технологии, в основе которой лежит способ принудительного перемешивания, является на сегодняшний день сложной задачей и экономически не выгодным.

В развитие предложенной технологии получения сыпучемерзлой фиброгрунтоцементной смеси была усовершенствована операция по ее приготовлению. Идея предложенного технического решения состоит в том, что взамен способа перемешивания используется новый способ прямого распределения компонентов в смеси (рис. 5) [7,8].

Для этого, вместо смесителя принудительного действия применяют принципиально новую разработку, реализуемую на конвейерной ленте согласно полученным патентам [9-11].

Технологическая линия по производству сыпучемерзлых фиброгрунтоцементных смесей включает в себя раму 1, с установленными на ней бункером 2 и транспортерной лентой 3 с приводом 4, причем устройство снабжено гребенкой 5 с размещенным на ней бункером 6 и приводом поперечного перемещения 7, при этом гребенка 5 и привод 7 взаимосвязаны между собой. Гребенка 5 выполнена в виде лотков, установленных по ширине транспортерной ленты 3.

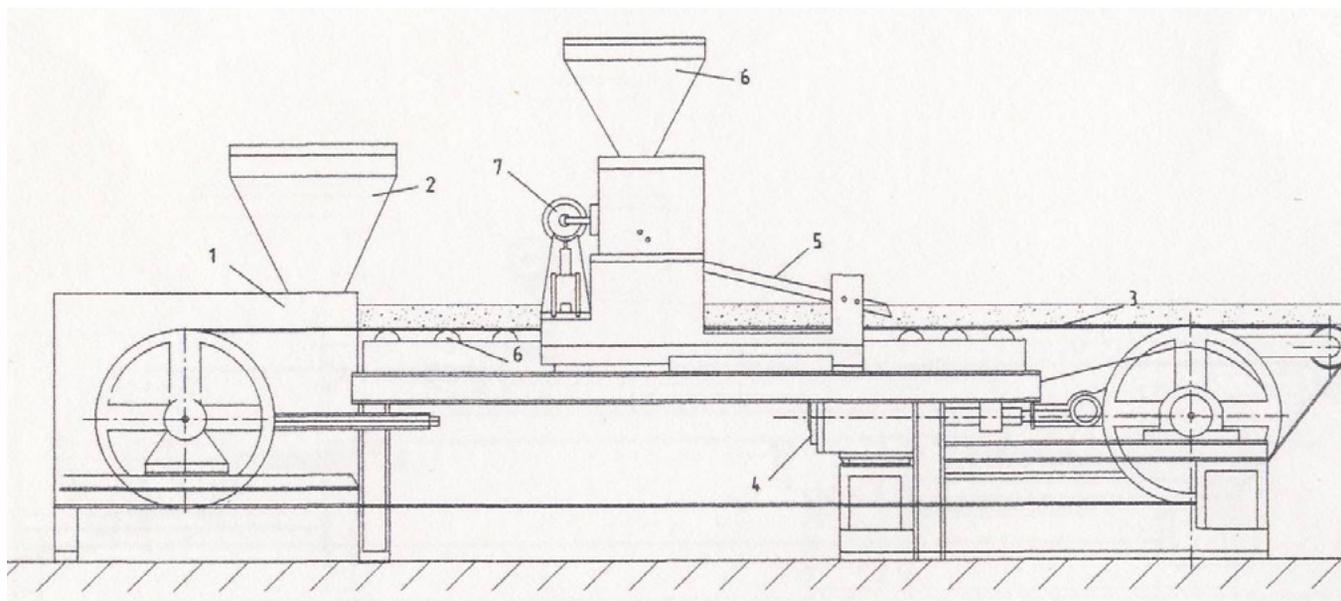


Рис. 5. Технологическая линия производства сыпучемерзлых фиброгрунтоцементных смесей. 1 - рама; 2 - бункер; 3 - транспортер; 4 - привод транспортера; 5 - гребенка; 6 - бункер; 7 - привод поперечного перемещения гребенки.

ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ВОЗВОДИМЫХ НАСЫПЕЙ ОТ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.

Существующие конструкции грунтовой насыпи не позволяют полностью защитить ее от негативного воздействия окружающей среды в процессе строительства и эксплуатации.

Была предложена мобильная система технологической защиты в виде передвижных надувных вагонов-куполов с возможностью создания в них искусственно необходимых температурных режимов и комфортных условий при выполнении строительных и ремонтных работ в зимних условиях (рис. 6).

ТЕХНОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.

Новым является то, что автомобильную дорожную насыпь не отсыпают, а собирают из готовых грунтовых дискретных полос, предварительно подготовленных - отсыпанных на геополотнищах на технологическом участке и доставленных зимой по снегу на трассу строящейся дороги [13]. При этом геополотнища остаются в теле насыпи, повышая несущую способность основания (рис. 7а, рис. 7б).

Кроме этого, первый слой из дискретных полос может служить временной дорогой для отсыпки последующих слоев по общепринятой технологии что, в целом, повышает эффективность новой технологии.

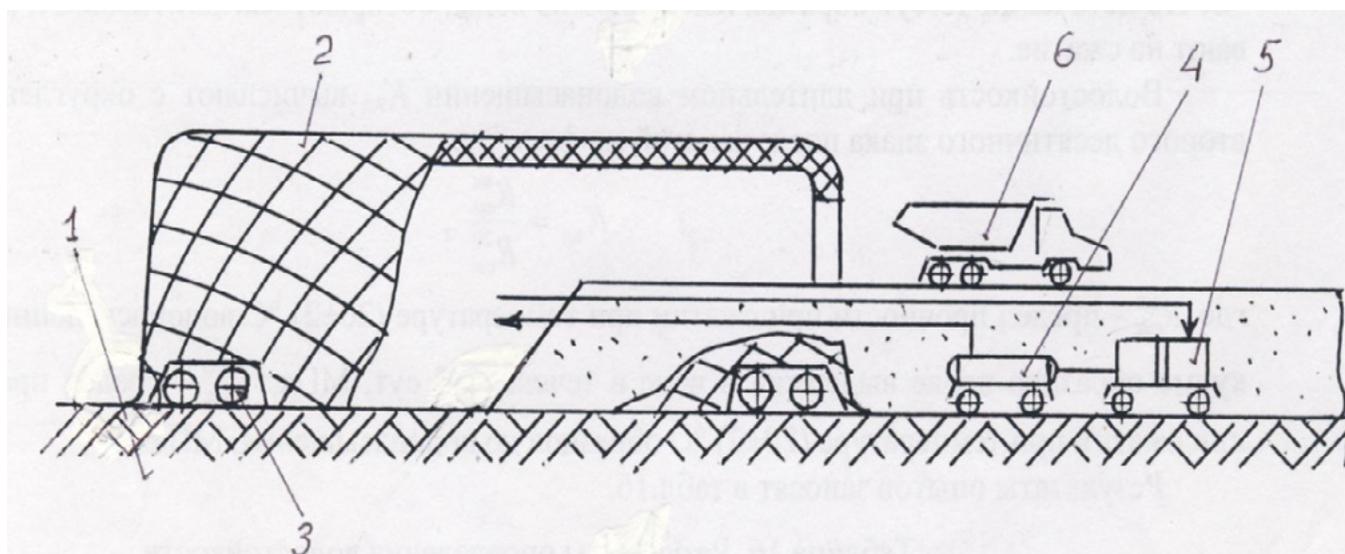


Рис. 6. Технологическая схема возведения насыпи под передвижным надувным куполом: 1 – основание; 2 – надувной мобильный купол; 3 – шасси; 4 – компрессор; 5 – холодильная установка; 6 – автомобиль.

Можно приближенно оценить экономическую эффективность предложенной разработки. Например, при использовании новой технологии сборки насыпи на каждом метре длины отсыпаемой насыпи в зависимости от грузоподъемности используемых автомобилей можно исключить использование 2-4-х самосвалов типа «Камаз». Такая новая оригинальная технология возведения насыпи даже без учета использования предложенного метода ускоренного промораживания основания насыпи позволит достигнуть значительного экономического эффекта.

ТЕХНОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ.

Это обеспечивается применением отработанных железнодорожных цистерн в теле насыпи и оригинальной управляемой системы термостабилизации грунта (рис. 8, рис. 9).

Управляемая система термостабилизации грунта состоит из основной стационарной части - отработанных железнодорожных цистерн, используемых в качестве холодильных устройств и уложенных в заглубленном состоянии на величину оттаивания h в основании насыпи (рис. 8а) [14], а также из вспомогательной гибкой части - в виде упруго-эластичного ковра на основе геосетки или геополотнища с электрическими микрохолодильниками Пельтье и датчиками температуры, уложенного в основании железнодорожного полотна, с возможностью авто-

матического поддержания температурно-реологического состояния основания по заданной программе на всем протяжении дороги (рис. 9б) [15,16].

Для повышения эффективности работы насыпи железной дороги создают условия для проводки одновременно как легко нагруженных составов, так и тяжело нагруженных составов, для чего задают два режима промораживания (рис. 9а).

Первый задают в ждущем температурном режиме на уровне 0° - $-0,5^{\circ}\text{C}$ с формированием и поддержанием пластично-мерзлого состояния грунта на

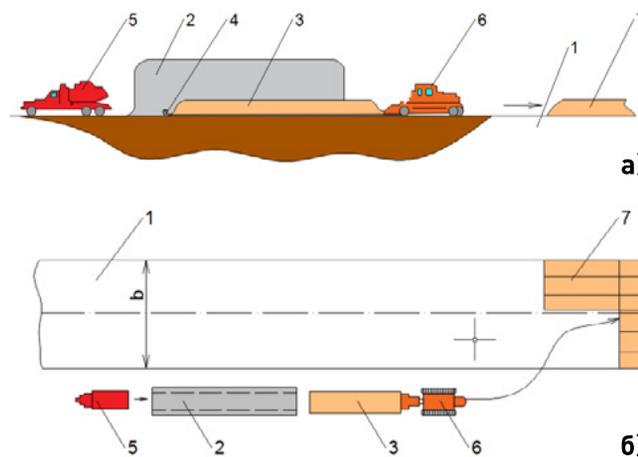


Рис. 7. Технологические схемы транспортирования дискретных грунтовых полос - а) и сборки насыпи дороги - б).

1 – трасса дороги; 2 – надувной купол; 3 – грунт; 4 – полотно; 5 – автосамосвал; 6 – бульдозер; 7 – грунтовая полоса.

всем протяжении дороги 4, а второй задают в активном температурном режиме на уровне $-0,5^{\circ}$ - -2°C .

Экономическая эффективность предложенного технического решения поясняется примером.

Так при использовании в конструкции железнодорожной насыпи с двумя путями и высотой 6 метров двух ниток из отработанных цистерн диаметром каждой 3 м объем замещенного грунта отсыпки может составить примерно 30-40%. Кроме этого на каждом метре длины отсыпаемой насыпи в зависимости от грузоподъемности используемых автомобилей можно исключить использование 2-3-х самосвалов типа «Камаз». Такая конструкция насыпи даже без учета использования новой системы термостабилизации позволит достигнуть значительного экономического эффекта.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ НАСЫПИ ОТ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Известны различные методы охлаждения насыпи и основания с использованием вентилирующих систем (щели, каналы, трубы, термостабилизаторы и др.). Однако все они отличаются сложностью реализации.

Нами предложен новый более технологичный метод, реализуемый на основе применения гибкой охлаждающей системы, выполненной в виде геополотнища или геосетки с рядами сквозных вентилируемых каналов (рис. 10) [17].

Такое решение позволяет ускорить и упростить процесс ее размещения в теле насыпи, повысить устойчивость насыпи за счет сопротивления сдвиговым деформациям на контакте грунта и трубок геополотнища, повысить интенсивность охлаждения насыпи за счет большей площади контакта охлаждающей системы с окружающим грунтом, что повышает, в целом, эффективность работы насыпи.

В заключение можно сказать, что предлагаемый комплекс технических решений актуален на сегодняшний день, так как позволяет при строительстве дорог значительно расширить область применения некондиционных структурно-неустойчивых грунтовых материалов, широко распространенных в арктических зонах, за счет улучшения их структурно-механических и эксплуатационных свойств, а также путем использования новых конструктивных решений насыпи с формированием в ней новых упрочненных структурных образований в виде фиброгрунтоцементных композиций.

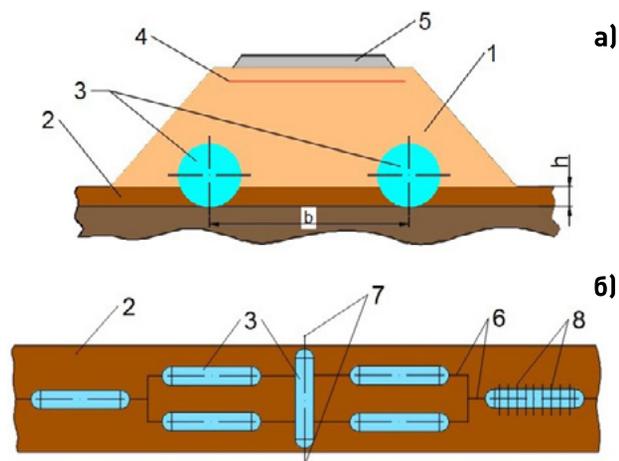


Рис. 8. Конструктивная схема насыпи – а) и вариант расположения отработанных цистерн в основании насыпи – б). 1 – насыпь; 2 – мерзлое основание; 3 – отработанные железнодорожные цистерны; 4 – геосетка с микрохолодильниками Пельтье и термодатчиками; 5 – железнодорожное полотно; 6 – трубопроводы; 7 – вентиляционные выпуски; 8 – радиаторные ребра.

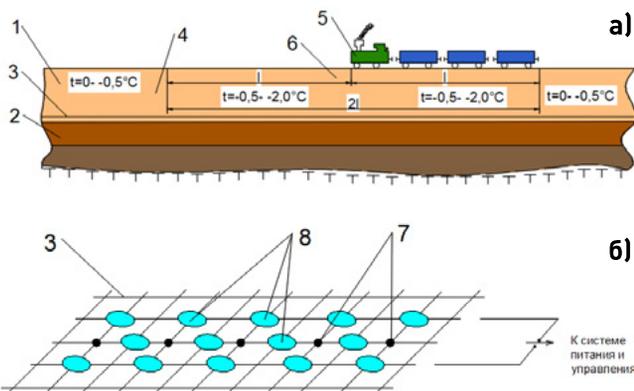


Рис. 9. Схема работы вспомогательной части системы термостабилизации грунта – а) и конструктивная схема геосетки с микрохолодильниками Пельтье и датчиками температуры – б). 1 – насыпь; 2 – мерзлое основание; 3 – геосетка с микрохолодильниками Пельтье и датчиками температуры; 4 – зона ждущего режима охлаждения; 5 – поезд; 6 – зона активного режима охлаждения; 7 – датчики температуры; 8 – микрохолодильники Пельтье.

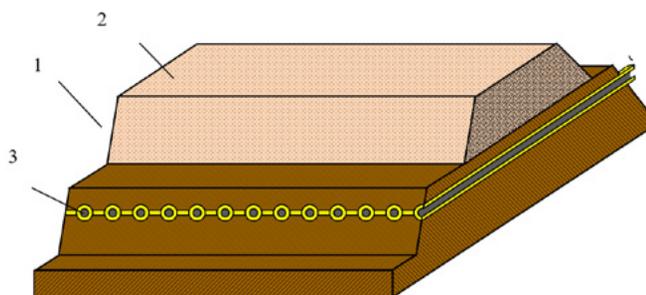


Рис. 10. Конструкция насыпи с гибкой системой охлаждения. 1 – основание; 2 – насыпь; 3 – трубчатый элемент с геополотнищем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов В.И. Повышение эффективности транспортно-строительного строительства в Арктических зонах / Научный Вестник Арктики, № 3, 2018. – С. 31-39.
2. Пат. 2360063 РФ, МПК³ E 01 C 3/06. Насыпь на мерзлом грунте / В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев; заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет. Опубликовано 27.06.2009. – 5с.
3. Трофимов, В.И. Повышение структурной прочности тонкодисперсных высокольдистых грунтовых материалов при строительстве транспортных сооружений в криолитозоне / В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев, С.С. Ганусевич, Д.В. Михайлюк, // Материалы V Общероссийской конференции: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М: ОАО ПНИИИС, 2010. – С. 14-16.
4. Трофимов, В.И. Геотехнология и строительство на мерзлых органоминеральных грунтах: монография / В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев. Тверь: ТвГТУ, 2014. – 268 с.
5. Трофимов, В.И. Использование новых грунтовых смесей для укрепления откосов дорог в Арктических зонах / В.И. Трофимов, И.В. Смелянский // Материалы Межд. заочной научно-техн. конф.: Инновации и моделирование в строительном материаловедении и образовании. – Тверь: Изд-во ТвГТУ, 2015. – С. 96-101.
6. Трофимов В.И., Смелянский И.В., Пупенин К.И. К вопросу повышения устойчивости дорожной насыпи при строительстве в арктических зонах / Сборник научных трудов: Инновации и моделирование в строительном материаловедении. – Тверь: ТвГТУ, 2016. – С. 94-98.
7. В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев, О.Г. Данилова, М.А. Домашенко. Новая технология получения эффективных грунтовых смесей из некондиционных грунтов для дорожного строительства в криолитозоне / Сб. трудов и тезисов докладов заочной межвузовской научно-практической конференции: Вопросы проектирования и эксплуатации наземного колесного транспорта. – Тверь: ТвГТУ, 2013. – С. 28-34.
8. Трофимов, В.И. Геокриологические и технологические особенности строительства транспортных сооружений в криолитозоне / В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев, // Материалы Шестой Общероссийской конференции: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М: ОАО ПНИИИС, 2011. – С. 104-107.
9. Патент RU 2309841, B28C 5/36. Способ приготовления сухой строительной смеси / Трофимов В.И., Лебедев В.Е. Заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет, 2007. – 3 с.
10. Патент RU 2325993, B28C 5/36. Устройство для приготовления сухой строительной смеси / Трофимов В.И., Лебедев В.Е. Заявитель и патентообладатель Тверской государственный технический университет, 2008. – 4с.
11. Трофимов, В.И. Разработка технологии приготовления сухой строительной смеси / В.И. Трофимов, В.Е. Лебедев, А.А. Чугреев // Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции: Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии. Тула, 2007. С. 75-78.
12. Патент РФ 2464372. Способ строительства дорог на мерзлых грунтах / В.И. Трофимов, В.Г. Кондратьев, А.В. Сидоров. Бюл. № 29, 2012. – 5 с.
13. Патент РФ № 2641352. Способ строительства дорог на мерзлых грунтах / В.И. Трофимов. Опубликовано: Бюл. № 2, 2018. – 8 с.
14. Патент РФ 2657310. Насыпь железной дороги на вечномерзлых грунтах / В.И. Трофимов. Опубликовано: Бюл. № 17, 2018. – 8 с.
15. Патент РФ 2651713. Способ температурной стабилизации насыпи железной дороги на вечномерзлых грунтах / В.И. Трофимов. Опубликовано: Бюл. № 12, 2018. – 8 с.
16. Трофимов В.И., Лёушкин В.Ю., Джабаров А.С. Повышение эффективности строительства автомобильных и железных дорог в Арктических зонах / Сборник материалов IV Межд. научно-практ. конф. – Тверь: ТвГТУ, 2019. – С. 335-339.
17. Патент РФ 2487213. Насыпь на сильнольдистых вечномерзлых грунтах. МПК: E02D 17/18 / Трофимов В.И., Кондратьев В.Г. Опубликовано: Бюл. № 19, 2013. – 8 с.

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ ТОРГОВЫЙ ПОРТ»
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИСПЕТЧЕРСКАЯ АО «МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ ТОРГОВЫЙ ПОРТ»
(АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (АИС ПЭК АО «ММТП»)

*Авторский коллектив:
Масько Александр Вадимович,
Гуляев Евгений Игоревич,
Севостьянова Елена Витальевна,
Дайнеко Вячеслав Сергеевич,
Ковалева Ирина Вадимовна.*

Одним из приоритетных направлений деятельности АО «ММТП» является разработка и внедрение экологических проектов, направленных на уменьшение неизбежного влияния производственных процессов на окружающую среду.

Для АО «ММТП», находящегося в Арктической зоне на побережье Баренцева моря обеспечение экологической безопасности приобретает особое значение, в связи с крайне ранимой и трудно восстанавливаемой экосистемой Арктики. Цель – экологическая безопасность производства, в целом, означает возможность предусмотреть и избежать возникновения экологических чрезвычайных ситуаций, охрану природных объектов от природных и техногенных угроз, повышению точности и информативности получаемой информации о состоянии окружающей среды на территории предприятия и территории жилой застройки, прилегающей к предприятию.

Значимым экологическим проектом для АО «ММТП» стал проект создания «Автоматизированной информационной системы производственного экологического контроля АИС ПЭК АО «ММТП» («Экологическая диспетчерская»»). Проект вобрал в себя как самые перспективные наработки в области компьютерных решений и автоматизации, с элементами прогнозирования ситуации, так и возможность контроля и корректировки действий системы в ручном режиме, в зависимости от рабочей ситуации.

Старт проекта состоялся в феврале 2018 года.

Окончание – 31 мая 2019 года.

Общая стоимость реализации проекта составила 71 651 370,00 рублей.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Контроль и прогнозирование влияния производственной деятельности АО «ММТП» на уровень неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Принятие упреждающих действий для минимизации негативного воздействия на основе компьютерного прогноза и данных инструментального контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Разработан, смонтирован и запущен в работу аппаратно-программный комплекс, позволяющий строить прогноз распространения взвешенных веществ в атмосферном воздухе на основе действующих нормативных документов: дополнения к «Методическому пособию по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов» (Новороссийск, 2001) для расчета выбросов от АО «ММТП», ОНД-90 «Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы» и др.

Создано автоматизированное рабочее место экологического диспетчера, имеющего задачу принятия превентивных мер по снижению неблагоприятного воздействия на окружающую среду, основанных на данных прогноза, с горизонтом прогнозирования до 3-х суток.

В рамках выполнения поручения президента РФ по созданию мониторинга атмосферного воздуха, а также для корректировки прогнозов и отображения уровня воздействия на окружающую среду установлены мобильные пункты сбора данных, фиксирующие уровень контролируемых параметров в режиме реального времени на территории

промышленной площадки и на границе Санитарно-защитной зоны (СЗЗ) АО «ММТП».

Выделено влияние производственной деятельности СЗЗ АО «ММТП» в общем объеме неблагоприятного воздействия на окружающую среду как на территории промышленной площадки, так и на границе СЗЗ АО «ММТП».

ПОЛУЧАЕМЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ/ПРОЦЕССНЫЙ ОБЪЕМ ПОЛУЧАЕМЫЙ ОТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Первое направление деятельности АИС ПЭК - создание прогноза по распространению (рассеиванию) взвешенных веществ в атмосферном воздухе, получаемых при производственной деятельности порта, информирование о рисках превышения ПДК в зависимости от исходных данных. Прогнозирование осуществляется путем создания цифровой модели рассеивания взвешенных частиц на производственной площадке и в границах СЗЗ в режиме реального времени.

Второе направление деятельности АИС ПЭК – регистрация параметров в заданных точках и на границе санитарно-защитной зоны:

- массовая концентрация взвешенных веществ;
- температура воздуха;
- влажность воздуха;
- влажность штабелей;
- сила и направление ветра;
- уровень шума;
- уровень Оксидов (NO) и Диоксида азота (NO₂),
- уровень Оксидов углерода (CO),
- уровень Диоксида серы (SO₂).

АИС ПЭК обеспечивает:

- вывод регистрируемых параметров, а также данных, полученных на основании прогноза, на экран единой диспетчерской на GEO-карту на видеостене или на экране компьютера, с выбором пользователем режима выводимых параметров, создание автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора экологической диспетчерской;

- историческое хранение параметров в единой диспетчерской;

- представление параметров в виде табличных значений или графиков;

- выдачу сообщений системой в случае выхода за заданные диапазоны значений.

ЭЛЕМЕНТЫ АИС ПЭК АО «ММТП»

Для выбора мест установки постов производственного экологического контроля проведено обследование промышленной площадки АО «ММТП» специализированной организацией, выданы рекомендации по точкам размещения постов мониторинга для получения наиболее актуальных данных и, в соответствии с рекомендациями, посты мониторинга, оснащенные датчиками, установлены на территории промышленной площадки, и границе СЗЗ.

Датчики, используемые для измерений в составе АИС ПЭК:

- 14 датчиков контроля по пыли. Измеряемые фракции пыли PM_{2.5}, PM₁₀, Total;
- 12 датчиков контроля шума (дБ);
- 1 метеопост. Измеряемые показатели: температура, влажность, атмосферное давление, направление и сила ветра;
- 1 газоанализатор. Измеряемые показатели: CO, NH₃, NO, NO₂, SO₂;
- пост контроля уровня моря (м. от нулевой отметки);
- 2 мобильных влагомера для уточнения влажности угля (%).

ОБОРУДОВАНИЕ:

Измерение концентрации загрязняющих веществ (пыли) происходит на приборах измерения оптической плотности типа Dusttrak 8533, установленных непосредственно на промышленной площадке. Измерение уровня шума производится приборами Octafone 110M. На границе санитарно-защитной зоны расположены датчики типа E-Van, использующие в своей работе более совершенный радиоизотопный метод, основанный на поглощении В - излучения частицами пыли, осажденными на фильтрующую ленту.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИСПЕЧЕРСКАЯ.

Результаты измерений, полученных с постов экологического контроля сводятся на вновь созданное рабочее место «экологической диспетчерской», занимающегося и мониторингом экологической ситуации с установленных постов, и управлением средствами технического пылеподавления. Для размещения «экологической диспетчерской» выделено отдельное помещение. Рабочее место обеспечено мебелью и подключённой оргтехникой. «Эко-

логические диспетчеры» работают в круглосуточном режиме работы порта, посменно.

Вся оперативная информация об экологической ситуации, включая постоянно обновляющийся прогноз ее развития, поступает в распоряжение оператора экологической диспетчерской в виде видеоматериалов, графиков, схем, цифровых данных, отображенных на мониторах компьютеров и/или «видеостены» в удобном и наглядном виде.

Для функционирования оборудования АИС ПЭК вновь создано программное обеспечение (ПО) позволяющее осуществление автоматического обмена данными со смежными ИТ-системами и проведение расчета рассеивания загрязняющих веществ на основании утвержденных методик.

Программное обеспечение АИС ПЭК позволяет сохранять все полученные данные в архиве и формировать на их базе отчеты в виде таблиц «Excel» и в виде графиков.

Управление АИС ПЭК осуществляется «экологическим диспетчером», с помощью удобного пользовательского интерфейса. Основной пользовательский интерфейс для экологической диспетчерской выполнен на базе web-приложения, размещен-

ного в службе MS Internet Information Server, и представляет собой гео-карту порта на базе сервиса Yandex.карты, с прилегающей к границе санитарно-защитной зоны территории городской застройки.

На мониторы, установленные на рабочем месте «экологического диспетчера» пользовательский интерфейс выводит три основных режима работы:

1. Текущие расчетные значения рассеивания в виде изолиний с градациями расчетных значений на основе текущих погодных данных, данных состояния склада, заданных значений коэффициентов при производстве погрузочно-разгрузочных работ, поступивших из ИЛС ILSAR.

2. Прогнозные расчетные значения рассеивания в виде изолиний с градациями расчетных значений на основе прогноза погоды и данных, поступающих из ИЛС ILSAR. Возможно задание мультимедийного вывода прогнозных значений изолиний значений в виде последовательного переключения видов изолиний через заданный промежуток времени (секунды) для заданного шага (интервала) прогнозного времени (1-3 часа) и в заданном прогножном диапазоне (от текущей даты/времени максимум + 72 часа вперед).



Общий вид рабочего места «экологического диспетчера»

В режиме прогноза можно просматривать историю наблюдений за любой период.

3. Текущие значения измерений с точек мониторинга, установленных на территории промышленной площадки и на границе санитарно-защитной зоны.

Отображение графиков на экране монитора происходит по выбору оператора в одном из трех режимов. В первом режиме информация с каждого поста контроля отображается на отдельном графике. Во втором режиме данные со всех постов контроля отображаются на одном графике. Третий режим отображает данные каждого из постов контроля, каждый в своем графике в одном окне, с возможностью настройки отображения.

АИС ПЭК, в случае превышения заданных параметров окружающей среды создает уведомление на экране монитора и/или «видеостене», с указанием величины показателя, места установки поста.

В задачу «экологического диспетчера» входит также непрерывный визуальный мониторинг экологической ситуации на производственной площадке и на границе санитарно-защитной зоны с помощью нескольких десятков видеокамер, установленных на производственной площадке.

Экологический диспетчер» находится в постоянном телефонном контакте с главной диспетчерской порта и с диспетчерами грузовых районов для обмена информацией. Наличие объективной своевременно получаемой информации о реальной обстановке позволяет мгновенно реагировать на малейшие отклонения от установленных санитарных норм содержания в воздухе вредных (загрязняющих) веществ.

При получении оповещения об объявлении режима неблагоприятных метеорологических условий

(НМУ) «экологический диспетчер» действует в соответствии с разработанным, и утвержденным Министерством природных ресурсов и экологии Мурманской области Планом мероприятий по снижению негативного воздействия от производственной деятельности на окружающую среду. Для своевременного получения информации о НМУ экологический диспетчер» взаимодействует с городским управлением гидрометеорологической службы, отслеживая погодные явления. «Экологический диспетчер» в соответствии с Планом мероприятий организует работы по орошению штабелей и дорог, руководит выводом мобильных систем орошения и поливочно-уборочных машин и вакуумных автопылесосов.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА АИС ПЭК АО «ММТП» (ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИСПЕТЧЕРСКАЯ):

Дальнейшее развитие проекта связано с планами передачи управляющих воздействий посредством компьютерной аналитики (применение возможностей искусственного интеллекта) в автоматическом режиме напрямую в систему активного пылеподавления (водяные завесы, системы орошения и полива склада, смешанные системы пылеподавления) для непосредственного воздействия на пылеобразование в случае фиксации в определенных областях превышения ПДК пыли, или при прогнозировании такого превышения.

Полный/частичный отказ от сбора данных с датчиков и применение активной нейросети для анализа архива массивов данных, собранных с датчиков при разных параметрах технологического процесса и метеоданных. Использование архивных данных для прогнозирования ситуации и управления экологическими рисками при ведении погрузочно-разгрузочных работ.

АО «РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИНЖИНИРИНГА В СФЕРЕ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДИСПЕРГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ

Авторский коллектив:

Матвеев Вячеслав Иосифович,

Куряшов Дмитрий Александрович,

Башкирцева Наталья Юрьевна,

Мингазов Рифат Радизович.

Реализация целого ряда крупных проектов по добыче нефти на континентальном шельфе заставляет обратить пристальное внимание на обеспечение экологической безопасности окружающей среды. Практика показывает, что несмотря на все меры предосторожности, предпринимаемые для обеспечения безаварийности работ, полностью исключить риск аварии платформы, транспортного судна или подводного трубопровода с последующим разливом нефти невозможно. Поэтому обеспечение готовности к реагированию на возможные разливы должно являться приоритетом в комплексе мероприятий, направленных на поиск и добычу нефти. Это особенно актуально применительно к условиям замерзающих морских акваторий в арктических широтах с чрезвычайно уязвимой природной средой. Экологические последствия в этих условиях носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе [1,2].

Использование диспергентов является одним из наиболее эффективных методов ликвидации нефтяных разливов в ледовых арктических условиях, обладающий рядом существенных преимуществ. Например, по сравнению с другими способами ликвидации, метод распыления диспергентов на поверхности моря часто может оказаться наиболее оперативным. Это связано с тем, что распыление диспергентов с воздушного судна позволяет в течение относительно короткого промежутка времени осуществить обработку нефти, разлитой в море на большой площади, в том числе в удаленных местах. Диспергенты также можно использовать в

условиях бурного моря, что является препятствием для ее механического сбора и контролируемого сжигания. Также, натурные испытания показывают, что диспергенты могут быть эффективным средством ЛАРН в условиях низких температур, во льду [3]. Оказалось, что в условиях открытого дрейфа льда энергии волн достаточно для эффективного диспергирования нефтяного пятна, обработанного диспергентами. Таким образом, использование диспергентов является признанным и проверенным методом, который является частью набора средств для ликвидации разливов нефти, и может внести существенный вклад в минимизацию экологических и социально-экономических последствий морских разливов нефти.

Однако, как и все методы, входящие в набор средств для ликвидации разливов нефти, включающий применение механических, физико-химических и биологических способов очистки, диспергенты не всегда отвечают требованиям необходимой технологической эффективности и экологической безопасности. Например известно, что специфической особенностью диспергентов является их узкая применимость [4]. Так, эффективность одного и того же диспергента значительно различается при изменении вязкости нефти в результате ее остывания или выветривания. Аналогичный эффект наблюдается при изменении значений солености морской воды. С точки зрения экологии существует риск вторичного загрязнения морских акваторий в результате применения диспергентов, имеющих в своем составе токсичные компоненты.

Таким образом, разработка и внедрение новых диспергентов для снижения токсичности, дос-



Рис. 1. Лабораторное тестирование диспергентов методом ВФТ.

тижения большей эффективности и расширения диапазона их применения является актуальной задачей.

Для решения поставленной задачи на первом этапе работы, на основании данных литературного и патентного обзора, было отобрано несколько десятков поверхностно-активных веществ (ПАВ) с целью оценки их потенциала для включения в состав диспергентов. Функция ПАВ заключается в интенсификации процесса образования устойчивой эмульсии нефти в воде для последующего рассеивания капель нефти в поверхностном слое воды. При этом нефть должна сохраняться в эмульгированном состоянии до полного биохимического окисления нефтепродуктов. Отобранные вещества были представлены неионогенными ПАВ на основе оксиэтилированных производных сорбитанов, жирных спиртов и кислот, анионными ПАВ на основе фосфорных эфиров жирных спиртов и сульфосукцинатов алканоламидов жирных кислот и цвиттерионными ПАВ на основе фосфолипидов растительного происхождения.

Диспергирующая эффективность отобранных ПАВ оценивалась с помощью метода Baffled Flask Test (BFT) как отношение количества диспергированной нефти к ее общему количеству, внесенному в систему [5-7]. Для активного применения диспергента количество диспергированной нефти должно составлять не менее 45% ($50 \pm 5\%$), т.е. соответствие данному критерию позволяет рассматривать исследуемую поверхностно-активную композицию как потенциальный диспергент.

Результаты исследований по оценке диспергирующей способности отобранных ПАВ в отношении

сырой нефти показали, что индивидуальные ПАВ не обладают достаточной эффективностью. Вместе с тем оказалось, что смешанные растворы ПАВ проявляют синергизм в повышении диспергирующей эффективности. Так эффективность композиции, включающей фосфолипиды растительного происхождения и неионогенные ПАВ, а также специально подобранный растворитель на основе смеси гликолей ($C_3 - C_5$) с водой составляет 63%, что позволяет рассматривать ее в качестве диспергента. Синергетический эффект в увеличении диспергирующей способности также был обнаружен для смеси ПАВ, состоящей из оксиэтилированных сорбитанов и анионных ПАВ. Смесь данных ПАВ, а также растворитель на основе гликолей ($C_3 - C_5$) и воды составили композицию, которая обладает диспергирующей эффективностью 87%.

Таким образом, в ходе выполнения проекта были разработаны две рецептуры диспергентов (композиции), обладающие высокими диспергирующими свойствами по отношению к нефти. Отличительной особенностью разработанных диспергентов является использование в их составе только биоразлагаемых поверхностно-активных веществ, в том числе растительного происхождения, обладающих низкой токсичностью. Например известно, что фосфолипиды растительного происхождения не оказывают токсического воздействия на морские организмы ($LC50 > 1000$ мг/л).

Далее, были проведены углубленные систематические исследования влияния различных факторов на эффективность диспергентов. В лабораторных условиях (рис.1) оценивалось влияние плотности и вязкости нефти, солености воды, температуры воды



Рис. 2. Тестирование диспергентов на мезомасштабной установке, позволяющей моделировать естественное состояние поверхности моря

и окружающей среды, степени выветривания нефти, толщины пленки разлитой нефти и интенсивности перемешивания. Показано, что с ростом вязкости и плотности нефтей диспергирующая эффективность композиций имеет тенденцию к уменьшению. Аналогично, диспергирующая эффективность композиций снижается с уменьшением солености и понижением температуры морской воды. Вместе с тем, полученные значения для разработанных композиций, соответствуют критерию эффективности диспергентов ($50 \pm 5\%$), установленному методикой испытаний. Приведем значения эффективности композиций в наиболее сложных для диспергентов условиях: низкая температура, низкая соленость воды и высоковязкая, тяжелая нефть. При отношении к нефти 1:20, температуре 0°C и солености воды 15 г/л разработанные композиции диспергируют тяжелую, высоковязкую нефть на 50%. Это наименьшее значение эффективности диспергирования, полученные для экстремальных условий применения. Кроме того, для более эффективного применения диспергирующих композиций возможно повышение концентрации их использования до соотношения к нефти 1:10.

В настоящей работе эффективность диспергентов также оценивалась на мезомасштабной установке (рис. 2), позволяющей моделировать естественное состояние поверхности моря. В результате выявлены основные закономерности изменения эффективности разработанных диспергентов в зависимости от заданных условий. Установлено, что для всех испытуемых диспергентов характерно снижение эффективности при диспергировании

нефти средней плотности, несмотря на ее относительно небольшую вязкость. В связи с этим, независимо от плотности и вязкости нефти, перед применением диспергентов при ЛАРН необходимо проведение лабораторных испытаний по оценке эффективности диспергента в отношении разлившейся нефти. Полученные в результате проведенных испытаний данные показали, что разработанные диспергенты обладают наибольшей эффективностью (84% и выше), при солености воды 35 г/л. В области низких значений солености эффективность всех испытанных диспергентов на уровне 50-55%. Установлено, что с ростом температуры, для всех испытуемых диспергентов, происходит линейное увеличение эффективности диспергирования. При увеличении температуры от 0 до 25°C рост эффективности всех диспергентов составляет в среднем 8-9%.

Согласно полученным результатам, выветривание нефти в течение 48 часов не приводит к существенному снижению эффективности диспергентов. Однако, испытания выявили подверженность нефтяной пленки интенсивному фотоокислению под действием ультрафиолетовых лучей. Установлено, что в результате окисления пленки нефти эффективность диспергентов снижается на 16-18%. Полученные данные еще раз подтверждают необходимость оперативного реагирования на разливы нефти. Чем быстрее будет произведена обработка пленки разлитой нефти диспергентом, тем успешнее будут проведенные мероприятия ЛАРН.

В рамках проекта были выполнены сравнительные испытания разработанных диспергентов с

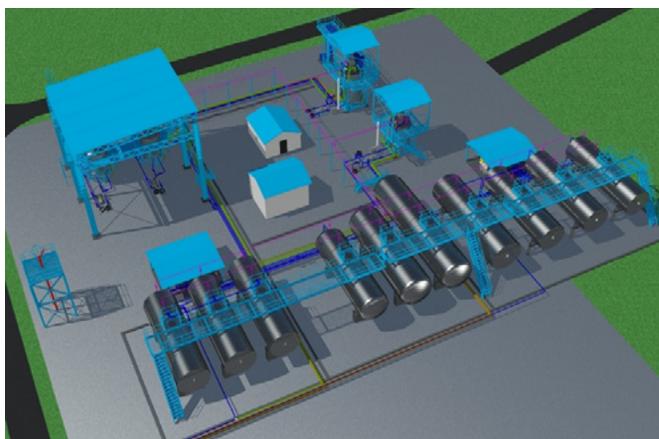


Рис. 3. Общий вид установки производства диспергентов.

импортным диспергентом. Обнаружено, что разработанные композиции проявляют большую эффективность во всем диапазоне температур, солёности воды и соотношений диспергент:нефть.

Следующий этап проекта был посвящён проектированию технологии производства диспергентов на базе ООО «Урусинский химический завод». Разработаны технологическая схема и 3D модель установки производства диспергентов (рис. 3). Подготовлены Технические условия и Технологический регламент на производство разработанных диспергентов, выполнена наработка опытных партий диспергентов. При наработке опытных партий были установлены оптимальные технологические режимы получения диспергентов в промышленных условиях.

Таким образом, результаты проведенных лабораторных исследований методом BFT и испытания на мезомасштабной установке, при условиях максимально приближенных к реальным, позволяют утверждать, что разработанные композиции диспергентов можно эффективно применять для ликвидации разливов нефти при различных климатических условиях. Испытания, выполненные с использованием различных нефтей, в том числе с вязкостью 522 мм²/с и плотностью 0,939 г/см³, при температурах 0°C и при солёности воды 15 г/л показали высокую эффективность диспергентов. Во всех случаях полученные значения диспергирующей эффективности соответствовали критерию эффективности (50±5%), установленному методикой испытаний. Сравнительный анализ с зарубежным промышленно применяемым диспергентом выявил

преимущество разработанных диспергирующих композиций в эффективности во всем диапазоне плотностей и вязкостей нефтей, температуры и солёности воды. Полученные данные позволяют утверждать, что разработанные диспергенты будут обладать высокой эффективностью при низкой температуре (в условиях Арктики) и в условиях низкой солёности воды (к примеру, у устья рек или в условиях таяния льдов). Проведенные опытные наработки партий диспергентов подтвердили возможность получения диспергентов высокого качества на предприятиях Российской Федерации, на основе отечественных поверхностно-активных веществ и растворителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семанов Г.Н., Гутник А.Н., Зацева С.Н., Ивченко А.А., Солбаков В.В., Становой В.В., Шиваев А.С. Анализ суммарной экологической выгоды — инструмент принятия решения при ликвидации разливов нефти. - *Арктика: экология и экономика*, № 1 (25), 2017.
2. Чекуленева Н.А., Серый С.С., Анализ суммарной экологической выгоды при планировании мероприятий по ликвидации разливов нефти, SPE – 176686-RU.
3. Daling P.S., Brandvik P.J., Singsaas I., Lewis A. Dispersant effectiveness testing of crude oils weathered under various ice conditions Interspill- 2012, march 2012, London, GB.
4. Сальников А.В. Анализ полигонных методов тестирования эффективности диспергентов для ликвидации аварийных разливов нефти в арктических морях // Проектирование и разработка нефтегазовых месторождений, - 2019. - №3. - С. 37-42.
5. George A. Sorial., Task Order Leader. Laboratory testing to determine dispersion predictability of the baffled flask test (bft) and swirling flask test (SFT). July 1, 2004 – January 31, 2006.
6. M.V.K.S Wickramanayake., R. A. Maithreepala and H.B. Asanthi. Efficiency assessment of an oil dispersant (Adt type 3) by Swirling flask test & Baffled flask test under laboratory condition. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 6, Issue 7, July 2016 401.
7. National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Federal Register* / Vol. 80, No. 14 / January 22, 2015 / Proposed Rules.

НИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО КАЗЁННОГО ВОЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИМЕНИ
ГЕНЕРАЛА АРМИИ А.В. ХРУЛЁВА»

**ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Авторский коллектив:
Дрецинский Владимир Александрович,
Ласточкин Николай Николаевич.*

Усиление роли Северного морского пути в мировой системе транспортных коммуникаций, значительные объемы запасов углеводородов, золота и редкоземельных металлов вызывает необходимость более интенсивного освоения Арктического региона, в том числе активное развитие его оперативного оборудования и транспортной инфраструктуры, что предопределяет усиление внимания США и других государств, направленное на установление контроля над военной и хозяйственной деятельностью в данном регионе.

Это требует принятия адекватных мер в области военного строительства в Арктической зоне на основе оценки реальных угроз национальной безопасности Российской Федерации.

В 2014 году для обеспечения национальной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации на период до 2030 г., и дальнейшую перспективу было принято решение на формирование объединенного стратегического командования «Северный флот» («ОСК»СФ) с назначением ему зоны ответственности в Арктическом регионе. Нарращивание группировки войск в арктических районах, их своевременное и качественное обеспечение запасами материально-технических средств, вызывает необходимость развития транспортной инфраструктуры Арктического региона.

Мобилизационные перевозки, а также доставка материально-технических средств соединениям и частям Вооруженных Сил РФ в Арктической зоне с баз (складов) Западного и Центрального Военных округов могут осуществляться железнодорожным транспортом по следующим железнодорожным направлениям:

а) железные дороги ПАО «РЖД»:
Санкт-Петербург – Волховстрой – Лодейное Поле –

Петрозаводск – Кочкома – Беломорск – Кандалакша – Мурманск – Мурманск – Североморск с ответвлением Мурманск – Луостари (Октябрьская железная дорога) – основное железнодорожное направление для мобилизационных и снабженческих перевозок для ОСК «Север» в пределах Кольского операционного направления; свыше 900 км пути расположено за Полярным кругом;

Москва – Ярославль – Вологда – Коноша – Обозерская – Архангельск – Северодвинск (Северная железная дорога);

Ярославль – Вологда – Коноша – Котлас – Микунь – Сосногорск – Чум – Воркута (Северная железная дорога) в пределах Печерского операционного направления;

б) железные дороги необщего пользования (принадлежащие министерству обороны):

железная дорога космодрома «Плесецк» Коноша – Няндомы – Плесецкая – Обозерская (длина 90 км);

железнодорожные пути ВМБ Североморск (Видяево, Гаджиево);

в) железные дороги необщего пользования (принадлежащие другим ведомствам):

Лабытнанги – Чум – Воркута – Сохонго – Бованенково – Харасавэй в пределах Ямало-Ненецкого операционного направления (ведется строительство);

Коротчаево – Новый Уренгой – Ямбург.

Всего на сети железных дорог в зоне ответственности ОСК «Север» насчитывается 12 железнодорожных узлов и узловых станций, более 100 промежуточных станций, 134 моста общей длиной 43,9 км, в том числе:

- малые мосты 91 (68 % от общего количества) длиной 15,3 км;

- средние, большие и внеклассные мосты 43 (32 % от общего количества) длиной 28,6 км.

В пределах Кольского операционного направления расположены:

- железнодорожные узлы Волховстрой, Волхов, Петрозаводск, Мурманши, Мурманск;

- большие железнодорожные мосты: через реку Свирь у Лодейного Поля (367 м); через реку Свирь у Свири (140 м); через реку Мста у Веребечье (393 м), через реку Кемь у Кеми (156 м), через реку Инта.

В пределах Печерского операционного направления расположены:

- железнодорожные узлы Ярославль, Вологда, Коноша, Обозерская, Архангельск, Котлас, Микунь, Воркута;

- большие и средние железнодорожные мосты: через реку Вага (122 км); через реку Юа у Котласа; через реку Вычегда (1259,3), через реку Вымь у Княжпогоста, через реку Инта (1572,8), через реку Панора у ст. Пост, через реку Уса у Охотпоста, через реку Уса (2191), через реку Уса у Воркуты.

В пределах Ямало-Ненецкого операционного направления ведется строительство мостов через реку Надым (1134 м с подходами 1,8 км) и через реку Пур, проектируется мост через реку Таз (более 1000 м, с подходами на эстакадах – до 27 км).

Все объекты инфраструктуры данных железнодорожных направлений находятся в зоне досягаемости крылатых ракет морского базирования и авиационной ударной группировки НАТО «Север».

Техническое прикрытие данных железнодорожных направлений Планом технического прикрытия объектов инфраструктуры железных дорог общего пользования в зоне ответственности ОСК «Север» не предусмотрено.

Планами развития сети железных дорог предусматривается строительство новых железнодорожных направлений:

а) в период до 2020 г. (более реально – до 2025 г.)

Троицко-Печерск – Сосногорск – Индига в пределах Печерского операционного направления;

Ивдель – Няксимволь – Саранпауль – Салехард – Лабытнанги (в рамках проекта «Урал Полярный») в пределах Ямало-Ненецкого операционного направления; основная проблема – строительство моста через реку Обь;

б) в период до 2030 г. (в связи с экономической ситуацией возможно в более поздние сроки.)

Лабытнанги – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево – Русское – Курейка – Игарка – Норильск – Дудинка;

Беркакит – Томмот – Якутск;

в) в период 2030-2050 гг.

Норильск – Хатанга – Тикси – Верхнеколымск – Анюй – Уэлем;

Якутск – Мегино-Алдан – Усть-Нера – Верхнеколымск.

Новые железные дороги меридионального направления, выходящие к портам Белого, Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых, значительно увеличат грузовой потенциал Северного морского пути.

На наш взгляд, целесообразно включить в перечень прикрываемых железнодорожных направлений воинских перевозок в интересах ОСК «Север» направления: Вологда – Коноша – Котлас – Микунь – Сосногорск – Чум – Воркута (Северная железная дорога).

Существуют и значительные проблемы с трудовыми ресурсами для обеспечения строительства железных дорог в необходимые сроки. В этой связи учитывая исторический опыт, к работам могут привлекаться и Железнодорожные войска.

Прогнозируемое привлечение Железнодорожных войск к строительству дорог в Арктической зоне и их восстановлению в случае возможного воздействия противника порождает ряд серьезных проблем.

Прежде всего, необходимо с сожалением констатировать тот факт, что за прошедшие 25 лет в Железнодорожных войсках РФ утрачен опыт строительства железных дорог в условиях низких температур и вечной мерзлоты, полученный в ходе строительства БАМа. Кроме того, за это время появились принципиально новые строительные технологии. Это предопределяет необходимость обобщения, анализа и отбора методов строительства железных дорог в условиях Севера, доступных формированиям Железнодорожных войск.

Проведенное исследование показало, что практически отсутствуют и надежные методы восстановления объектов в боевой обстановке в рассматриваемых особых условиях, что требует разработки и апробации специальных методов краткосрочного и временного восстановления объектов железных дорог.

Внедрение в практику войск специальных методов строительства и восстановления объектов железных дорог вызывает необходимость создания специализированных соединений ЖДВ для работы в Арктической зоне и их переоснащение специальной строительной техникой.

Прежде чем рассматривать возможные методы строительства и восстановления железных дорог, целесообразно выявить особенности условий арктической зоны, оказывающих на них наибольшее влияние.

Низкая температура окружающего воздуха затрудняет пуск двигателя, оказывает влияние на работу всех его систем и поддержание нормального теплового режима, теряют упругие свойства детали изготовленные из резины, а на их поверхности образуются трещины. В этих условиях к строительным машинам и оборудованием предъявляется ряд дополнительных требований:

- применение конструктивных и эксплуатационных материалов повышенной холодо- и морозостойкости;
- использование надежных средств запуска двигателей и независимого обогрева кабин;
- обеспечение повышенной мощности двигателей и надежности электрооборудования;
- использование режущих и других рабочих органов землеройных машин повышенной износостойкости и прочности при работе на многолетней мерзлоте и в скальных грунтах;
- возможность универсального применения в многооперационных технологиях и адаптации к изменениям воздействий и нагрузок за счет оснащения бортовыми системами автоматизированного управления.

В этих условиях целесообразно применять:

- экскаваторы тяжелого класса с уширенными гусеницами и ковшом емкостью 1,6-2,5 м³ в комплексе с автосамосвалами, оснащенными колесами низкого давления из морозоустойчивой резины грузоподъемностью 12-15 т;
- фронтальные автопогрузчики емкостью 3-5 м³;
- бульдозеры тяжелого класса с универсальными отвалами мощностью ДВС не менее 500 л.с.;
- автогрейдеры и скреперы тяжелого класса емкостью не менее 10-15 м³;
- фрезерно-рыхлительное оборудование для работы в мерзлых грунтах на базе тракторов мощностью ДВС не менее 500 л.с.;
- буровые машины с уширенными гусеницами для бурения скважин и шпуров в мерзлых и скальных грунтах;
- ротационно-экскаваторные буровые машины типа РЭБМ-1500;
- машины для термомеханического бурения типа МДТ 230;

- специализированные самоходные путеукладочные, путерехтовочные и выправочно-подбивочные машины для работы в мерзлых и скальных грунтах.

Наличие снежного покрова ухудшает проходимость и усложняет вождение машин по дорогам в этой связи возможно использовать вездеходы, снегоходы, болотоходы.

Отсутствие растительности – требует повышенной концентрации запасов СВМиК из древесины, кроме того использование батальона заготовки деревянных конструкций вызывает необходимость его действий вдали от основных частей и соединений Железнодорожных войск.

Наибольшее влияние на технологию строительства и восстановление железных дорог влияет наличие вечномерзлых грунтов

В настоящее время при сооружении земляного полотна железных дорог в арктической зоне применяются инновационные технологии. Так, при строительстве железнодорожной линии Обская – Бованенково, возведение насыпи велось из влажного пылеватого песка, который под воздействием низких температур приобретал необходимую прочность. Для обеспечения устойчивости конструкции земляного полотна в летние месяцы была применена послойная система термоизоляции: поверх замерзшего песка уложен пенополистерол, сооружены обоймы из геотекстиля. Кроме того, могут быть использованы аэродинамически обтекаемые поперечные профили насыпей, которые позволяют ограничивать толщину снеговых отложений на откосах и в пазухах, сохранять отрицательные значения среднегодового теплового баланса на элементах поверхности грунтового массива. В таких насыпях гарантированно сохраняется мерзлое состояние грунта [1].

Очевидно, что технология восстановления железнодорожной насыпи в военное время требует больших временных затрат. По нашему мнению, одним из способов сокращения сроков восстановления железнодорожного пути в частности брешей, образовавшихся вследствие воздействия вероятного противника и увеличение сроков его эксплуатации в условиях Севера, может быть строительство железнодорожного пути без возведения земляного полотна: использовано комплекта РЭМ – 500, а также использование железнодорожных эстакад (ферм), установленных на термосваях.

Для краткосрочного восстановления искусственных сооружений, насыпей, брешей в сложных ин-

женерно-геологических и климатических условиях разработан мост для комбинированного движения с устройством опор из универсальных винтовых свай.

Использование предлагаемого моста для комбинированного движения с устройством универсальных винтовых свай позволяет: восстанавливать разрушенный мостовой переход, железнодорожную насыпь или брешь по старой оси; увеличить скорость монтажа пролетных строений; обеспечить движение, как железнодорожного транспорта, так и автобронетанковой техники, а также сократить расходы на доставку элементов моста. Стоит добавить, что использование современных материалов (композитные материалы) позволяет существенно уменьшить массу элементов моста и при этом увеличить прочность в сравнении с металлическими конструкциями в 2-5 раз.

Достаточно перспективным представляется технология строительства и восстановления железных дорог с применением полимерных материалов. В целях сокращения массы верхнего строения пути и сроков восстановительных работ на вечномёрзлых грунтах разработана композитная шпала переменного сечения [3].

Композитные шпалы почти втрое легче железобетонных шпал. Они могут применяться на путях с осевой нагрузкой до 30 т на ось, а срок их эксплуатации с учетом ремонта достигает полвека, что втрое больше деревянных.

Кроме того, такие шпалы сохраняют свои физико-механические свойства в условиях повышенной влажности, большой амплитуды температур окружающей среды от + 50 до -70 °С. Композитные шпалы отличаются высокой стойкостью к воздействию агрессивной среды, сохраняют свои свойства, химически агрессивных средах и радиации, имеют высокую ударную прочность, что делает полимерные композитные материалы привлекательными для применения в сфере военного строительства. Повышенное сопротивление ударной нагрузке позволяют снизить шумы и уменьшить вибрацию, вследствие чего уменьшается разрушение железнодорожного полотна на вечномёрзлых грунтах, минимизируется текущее обслуживание, сокращается количество ремонтов.

Трудоемкость монтажа и энергоемкость производства материалов и конструкций из композитных материалов, как показали экспериментальные исследования в 1,5 – 2 раза ниже.

Пластичность композиционных материалов позволяет получать изделия сложной формы, без выполнения трудоемких операций. Поэтому в условиях вечномёрзлых и слабых грунтов становятся возможны технические решения, позволяющие уменьшить массу изделия относительно аналогов и повысить устойчивость против поперечных и продольных сдвигов. Данные задачи решаются за счет того, что возможно производство композитных шпал с измененным сечением, где средняя часть представленной шпалы будет выполнена в виде тавровой формы, а вертикальное ребро конически уширено для увеличения жесткости элемента. По краям шпалы, также выполнено изменение сечения. Образованные изменением сечения полости заполняются балластом, что позволит несколько увеличить прочностные характеристики элемента, поскольку щебень будет препятствовать изгибу шпалы. Заполнение технологических полостей балластом, наряду с рельефной подошвой шпалы, позволит увеличить сопротивляемость элемента продольным и поперечным сдвигам. Несомненным преимуществом является то, что конструкцию скрепления возможно заложить еще на этапе производства. Это может быть, как клеммно-болтовое типа КБ-65, так и костыльное скрепление типа Д0.

Рассмотренные проблемы и пути их решения показали, что существующие и перспективные методы и технологии позволяют в определенной степени снизить негативное влияние неблагоприятных факторов и могут быть использованы в целях сокращения сроков строительства и восстановления железных дорог Арктического региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрещинский, В.А. Проблемы применения Железнодорожных войск Российской Федерации в Арктическом регионе. Материалы научно-практической конференции НИИ ВСИ МТО ВС РФ. СПб.: ВА МТО, 2015. Инв. 44592.
2. Патент на полезную модель «Мост для комбинированного движения с устройством универсальных винтовых свай» №175226 от 28 ноября 2017 года, авторы Дрещинский В.А., Соколов С.А., Белоножко И.С., Сизько Д.В., Степанов А.А.;
3. Патент на полезную модель «Композитная шпала переменного сечения» №188927 от 29 апреля 2019 года, авторы Дрещинский В.А., Лавриненко Д.С., Кибкало А.В., Клименко А.А., Панов В.В.