



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

2019



ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ



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
Фонд «Институт энергетики и финан- сов», Заместитель председателя экс- пертной межведомственной комиссии	ФЕЙГИН Владимир Исаакович	Президент Фонда, Член общественного совета при Минэнерго России, к.т.н.
Центр освоения морских ресурсов ПАО «Газпром». Заместитель председателя экспертной межведомственной комиссии	МИРЗОЕВ <i>Дилижан Аллахверди оглы</i>	Директор центра, доктор технических наук, профессор
СПМБМ «Малахит»	АНТОНОВ Владимир Сергеевич	Первый заместитель генерального директора – главный конструктор
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
ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»	ГИНТОВТ Андрей Римович	Генеральный конструктор морских нефтегазодобывающих сооружений.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»	ГОЛОВИНА Светлана Юрьевна	Заведующая кафедрой трудового права, д.э.н., профессор, член постоянно дейс- твующей 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.
АО «Дальэнергомост»	ГОРОДИЛОВ Андрей Владимирович	Генеральный директор

Минэнерго России	ГРАБЧАК Евгений Петрович	Директор Департамента оперативного контроля и управления в электроэнергетике
ФГБУ «Морспасслужба»	ЗВЯГИНЦЕВ Андрей Николаевич	Заместитель руководителя, к.т.н., Герой России, Заслуженный спасатель Российской Федерации
НИЦ «Курчатовский институт»	КАПЛАР Евгений Петрович	Заместитель начальника комплекса ядерных транспортных энергетических технологий, к.т.н.
ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России	КОНЕВ Алексей Викторович	Директор по инновациям
Минэнерго России	КУЛАПИН Алексей Иванович	Директор Департамента государственной энергетической политики
ЗАО «Комплексные инновационные технологии»	ЛАВКОВСКИЙ Станислав Александрович	Генеральный конструктор, д.т.н.
ООО «ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ», Секретарь экспертной межведомственной комиссии	МОРОЗОВА Ольга Павловна	Генеральный директор
Минэнерго России	РУБЦОВ Антон Сергеевич	Директор Департамента переработки нефти и газа
Минэнерго России	СМИРНОВ Владимир Витальевич	Помощник Министра энергетики Российской Федерации
Минэнерго России	СНИККАРС Павел Николаевич	Директор Департамента развития энергетики
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. «Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий».
Авторский коллектив АО «НПП ПТ «Океанос», ФГБОУ ВО СПбГМТУ, ООО «Световые системы», АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр»: Занин В. Ю., Маевский А. М., Кожемякин И. В., Куцко А. Е., Шипатов А. В., Одноблюдов М. А. 18
- 1.2. «Обоснование прогнозных показателей разработки осваиваемых газонефте-конденсатных месторождений континентального шельфа».
Авторский коллектив ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»: Мансуров М. Н., Бородин С. А., Гереш Г. М., Копаева Л. А., Лаптева Т. И., Николаев О. В., Стоноженко И. В. 27
- 1.3. «Основные решения по созданию подводных дожимных компрессорных станций для освоения морских месторождений континентального шельфа Арктики и Дальнего Востока России».
Авторский коллектив ПАО «Газпром», ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»: Новиков А. И., Трофименко В. В., Кирик М. С., Сувалов А. Б., Халикова Д. Ф., Морев Ю. А., Мирзоев Ф. Д., Дроздов А. В., Архипова О. Л. 32
- 1.4. «Инновационная технология создания и применения волоконно-оптических буксируемых сейсмических кос для проведения комплексных инженерных изысканий».
Авторский коллектив ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция»: Казанин Г. С., Базилевич С. О., Морозов И. С., Шабалкин В. В., Хрусталева М. А., Жилин Ф. Е., Дмитращенко П. Ю., Куликов А. В., Лавров В. С., Мешковский И. К., Плотников М. Ю. 36
- 1.5. «Энергоблок малой мощности с реакторной установкой на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем и газотурбинной установкой, работающей по открытому циклу».
Авторский коллектив АО «ОКБМ Африкантов», АО «Атомэнерго»: Вахранёва И. В., Киселёв А. В., Лесюков Д. Н., Лосев А. И., Миняйло Я. Д., Фатеев С. А., Окунев А. С., Плеханова А. А., Шешина Н. В., Иванов Б. А. 40
- 1.6. «Разработка концептуального проекта и технико-экономического обоснования танкера дедвейтом 180-200 тыс. тонн с ограниченной осадкой и инновационным энергосберегающим устройством для круглогодичного вывоза нефти из портов Балтийского моря и использования в Арктике».
Авторский коллектив ФГУП «Крыловский государственный научный центр», АО «ЦНИИМФ»: Стрельников Н. В., Сверчок А. В., Галушина М. В., Малов Е. В., Буянов А. С. 44
- 1.7. «Разработка новой модели динамического разрушения льда и совершенствование на ее основе требований Правил Российского морского регистра судоходства к ледовым условиям судов и ледоколов».
Авторский коллектив ФГУП «Крыловский государственный научный центр», АО «Центральное конструкторское бюро «Лазурит»: Шапошников В. М., Александров А. В., Апполонов Е. М., Платонов В. В. 48
- 1.8. «Комплекс работ по разработке технологии и созданию регистрирующего комплекса с геленаполненной буксируемой косой и источниками упругих колебаний для сейсморазведки в районах Арктики и континентального шельфа».
Авторский коллектив АО «Концерн «Океанприбор»: Селезнев И. А., Зархин В. И., Родионов В. Ю., Шатохин А. В., Шигапов Р. Р., Бородянская О. А., Демьянюк Д. Н. 52

1.9. «Разработка технологии электронно-лучевой сварки конструкций для нефтедобывающих платформ из хладостойких и высокопрочных сталей».	
Авторский коллектив ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И. В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»: Бланк Е. Д., Александров Н. В., Шарапов М. Г., Шекин С. И., Мартыанов А. Л., Рыжков С. В., Ткач А. М.	56
1.10. «Разработка регулирующей арматуры с высокоэффективной проточной частью осевого типа для объектов континентального шельфа и технология ее создания».	
Авторский коллектив АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» КБ «Армас»: Веселков В. В., Куличкова Е. А., Шмотиков А. В., Тюменцев Г. А., Козлов В. А., Поддубский Р. В., Мягков М. О.	59
1.11. «Концепция специализированного устройства типа «Купол» для локализации подводных разливов нефти.	
Авторский коллектив АО «Центральное конструкторское бюро «Лазурит», ПАО «НК «Роснефть»: Ромшин И. В., Апполонов Е. М., Грызлова Е. Н., Коротков С. Н., Пашали А. А., Сочнев О. Я., Сошитов А. П.	66
2. ЛАУРЕАТЫ ВТОРОЙ ПРЕМИИ	
2.1. «Методология применения информационных технологий повышения уровня компетентности работников как механизм обеспечения безопасной эксплуатации нефтегазовых месторождений».	
Авторский коллектив ООО «Газпром добыча Уренгой», ПАО «Газпром», ООО «Т Софт»: Дикамов Д. В., Мурзагалин А. Т., Коротченко А. Ю., Четин Д. А., Ишкильдин Р. Р.	72
2.2. «Система автономного электроснабжения САЭ-110».	
Авторский коллектив ООО «Газпром георесурс»: Плотников В. Л., Игнатев Е. М., Булычева Е. А.	76
2.3. «Обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов, работающих в условиях арктического шельфа».	
Авторский коллектив АО «Гипрогазцентр», ФГБОУ высшего образования «Ухтинский государственный технический университет»: Пужайло А. Ф., Савченков С. В., Агинец Р. В., Никулин С. А., Исламов Р. Р., Мамедова Э. А.	78
2.4. «Перспективы внедрения технологии по сжижению природного газа на активах ТПП Ямалнефтегаз».	
Автор ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»: Нзерибе Ф. С.	82
2.5. «Малогабаритная интегрированная с мультиантенной приёмной аппаратурой глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS всеширотная система ориентации, навигации и курсоуказания для морских и речных судов (ИСОН)».	
Авторский коллектив АО «Концерн «Центральный Научно-Исследовательский Институт «Электроприбор» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации: Волинский Д. В., Емельянец Г. И., Петров П. Ю., Радченко Д. А., Степанов А. П., Кошаев Д. А., Блажнов Б. А., Семенов И. В., Винокуров И. Ю.	85
2.6. «Комплекс работ по созданию и организации производства систем гидроакустического мониторинга для предупреждения чрезвычайных ситуаций на нефтедобывающих платформах в Арктике», шифр «Гидро-Арктика».	
Авторский коллектив ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ»: Куприянов М. С., Селезнев И. А., Полканов К. И., Дорохов А. В., Шелудько В. Н., Кулаженков М. А., Иванов А. М., Тамбовцева И. М., Стафеев С. В. Шкодина Е. В.	92

2.7. «Мобильная система брикетирования и переработки твердых бытовых отходов в районах, отдаленных от мусороперерабатывающих предприятий». Авторский коллектив Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Гляков М. Ю., Шкиря М. С., Бухарин Н. В.	102
2.8. «Применение сжиженного природного газа при реконструкции котельных Министерства обороны в Мурманской области». Авторский коллектив Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Бъядовский Д. А., Руденко А. Е.	104
2.9. «Сверхморозостойкие универсальные кабели управления торговой марки НИКИ в исполнении 2ХЛ». Авторский коллектив Общества с ограниченной ответственностью «Холдинг Кабельный Альянс», АО «НИКИ г.Томск»: Окунев С. А., Морозова Л. Ф., Дердященко А. С.	115
2.10. «Обеспечение технологической безопасности трубопроводов морских нефтеотгрузочных терминалов от чрезмерно высоких давлений». Авторский коллектив ООО «Варандейский терминал», ООО «ЛУКОЙЛ-Транс»: Рогов В. В., Рогов Р. В.	118
2.11. «Комплексные геофизические исследования в системе суша - транзитная зона - акватория как инструмент создания увязанных структурно-тектонической и нефтегазогеологической основ нефтегазоносных бассейнов». Авторский коллектив ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция»: Казанин Г. С., Матвеев И. А., Крюкова Г. Г., Зимовский А. В., Куома Д. Г.	122
2.12. «Комплексная методика управления жизненным циклом объектов энергетики в условиях Арктики». Авторский коллектив Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Бирюков А. Н., Добрышкин Е. О., Бирюков Ю. А., Лебедкин А. П.	126
2.13. «Научно-техническое обоснование и прогнозирование безопасной эксплуатации по ресурсу несущих конструкций и ответственных деталей железнодорожных машин и оборудования в условиях Крайнего Севера и Арктики». Авторский коллектив АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»): Волохов Г. М., Оганьян Э. С., Овечников М. Н., Гасюк А. С., Огуенко В. Н., Махутов Н. А., Ахметханов Р. С., Гаденин М. М. Резников Д. О.	131
2.14. «Сравнительный анализ лучших мировых и российских подходов в вопросах обеспечения безопасности на примере месторождения «Приразломное». Авторский коллектив ООО «Газпромнефть - Приразломное»: Билалов А. Д., Мохнаткин И. В.	134
2.15. «Внедрение интеллектуальной системы диагностики технического состояния газоперекачивающих агрегатов». Автор ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»: Хабибуллин Р. З.	139
2.16. «Концепция освоения Силурийских и Девонских залежей Приразломного месторождения при помощи систем ПДК». Автор ООО «Газпромнефть - Приразломное»: Русаков Д. Ю.	142

3. ЛАУРЕАТЫ ТРЕТЬЕЙ ПРЕМИИ

- 3.1. «Развитие технологии в области рационального природопользования и экологической безопасности с применением закачки ПНГ в пласт с целью повышения утилизации и полезного использования ресурсов».
Авторский коллектив АО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз»: Акчурин Р. М., Главнов Н. Г., Мухаметзянов И. З. 146
- 3.2. «Внедрение GTL – технологий для производства метанола из природного газа для месторождений Большехетской впадины».
Автор ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»: Тимеркаев А. А. 150
- 3.3. «Инновационная технология строительства искусственных островов для нефтегазопромысловых объектов на континентальном шельфе и в условиях вечной мерзлоты».
Автор ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»: Калинин А. Е. 153
- 3.4. «Автономное электроснабжение пункта сбора данных системы обнаружения утечек нефти».
Авторский коллектив ФГБОУ высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»: Бельский А. А., Добуш В. С., Глуханий Д. Ю. 157
- 3.5. «Внедрение инновационных разработок в процесс проведения сейсморазведочных работ как драйвер развития территорий арктического севера».
Авторский коллектив АО «Росгеология», АО «Южморгеология»: Левицкий А. А., Богданов М. Ю., Калинин К. В., Левицкая М. С., Круглякова М. В., Рудаков А. В. 161
- 3.6. «Инновационная разработка – портовый ледокол пр. AKER ARC124 Зав. №232 «ОБЪ» постройки ПАО «Выборгский судостроительный завод» по заказу ФГУП «АТОМФЛОТ».
Авторский коллектив ФГУП «Атомфлот»: Дегтярев Ю. П., Дегтерев А. Е., Латышев К. В., Кошелев А. В., Егизаров Г. Е. 166
- 3.7. «Методология прогнозных расчетов температурного режима многолетнемерзлых грунтов на этапах жизненного цикла объектов топливно-энергетического комплекса (проектирование, строительство, эксплуатация)».
Авторский коллектив ООО «НИИ Транснефть»: Половков С. А., Коротков А. А., Кайнов Ю. А., Кислов А. С., Пелих Э. А., Хилимонюк В. З. 170
- 3.8. «Разработка рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности систем электрического отопления зданий, эксплуатируемых в условиях крайнего севера, включая Арктику».
Авторский коллектив ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Рябиков А. И., Назаров А. А., Боков Г. В., Пехотиков В. А., Кузнецова Е. В., Грузинова О. И. 175
- 3.9. «Материально-техническое обеспечение войск (сил) в Арктической зоне Российской Федерации: проблемы логистики и способы их решения».
Авторский коллектив Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Целыковских А. А., Курбанов А. Х. 177
- 3.10. «Технические и технологические решения повышения эффективности организации питания военнослужащих и некоторых других категорий лиц в арктической зоне».
Автор ФГКВОО высшего образования Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Романчиков С. А. 186

3.11. «Исследование экологически безопасных янтарных покрытий для применения на судах арктического класса».	
Автор АО «ПО «Севмаш»: Зобов П. Г.	191
3.12. «Арктическая ветроэнергетическая установка».	
Авторский коллектив Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва: Седых Н. А., Ершов А. В.	194
3.13. «Геоинформационное обеспечение морских геологоразведочных работ в Арктике».	
Авторский коллектив ОАО «Севморнефтегеофизика»: Зюзин Б. А., Терентьев С. Ю., Селифонтьев В. А.	198
3.14. «Оптимизация системы добычи нефтяного фонда Пяяхинского месторождения за счет интегрированного моделирования».	
Автор ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»: Зипир В. Г.	203
3.15. «Применение турбовального двигателя ТВ7-117В в программах освоения и развития арктических территорий».	
Автор АО «ОДК-Климов»: Елисеев В. А.	207
3.16. «Разработка и реализация инновационных решений по вовлечению в эксплуатацию многопластового нефтегазоконденсатного месторождения в условиях Крайнего Севера с организацией нефтяного и газового промыслов».	
Авторский коллектив Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г.Тюмени, ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»: Солянов С. А., Мавлетдинов М. Г., Кузнецов С. Л., Зипир М. Г.	210
3.17. «Методика построения карт чувствительности/уязвимости прибрежно-морских зон от нефти».	
Авторский коллектив ФГБУН Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук: Шавыкин А. А., Карнатов А. Н.	218
3.18. «Ветрогенератор как дополнительный источник тепловой энергии населенного пункта в Арктике».	
Авторский коллектив ФГБОУ высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения»: Москалев Ю. В., Соколов П. С.	223
3.19. «Разработка технико-технологических решений по обслуживанию оборудования комплекса устройств прямой отгрузки нефти (КУПОН) МЛСП «Приразломная».	
Авторский коллектив АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», ООО «Газпромнефть - Приразломное»: Торопов Е. Е., Гильфанов Р. Р., Азиков Е. В., Воронько А. В., Кириллов М. В., Семенов В. Б., Мохов О. А., Бугаков А. И., Макушева О. А., Подгорецкий С. А., Ивко И. Е.	230
4. ПАРТНЕР ПРОЕКТА. КОМПАНИЯ IRS Laser Tech.	236
5. ООО «НПК «УТС ИНТЕГРАЦИЯ». СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ИНТЕГРАТОР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНКУРСОВ НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК.	244

АО «НПП ПТ «ОКЕАНОС», ФГБОУ ВО СПбГМТУ, ООО «СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ»,
АО «ЗЕЛЕНГРАДСКИЙ ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ РЕЗИДЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ИНТЕРВЕНЦИОННОГО КЛАССА И СОПУТСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Авторский коллектив:
Занин Владислав Юрьевич,
Маевский Андрей Михайлович,
Кожемякин Игорь Владиленович,
Куцко Александр Евстафьевич,
Шипатов Андрей Владимирович,
Одноблюдов Максим Анатольевич.*

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В МИРЕ И АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИИ

Снижение цен на нефть с августа-сентября 2014 г. на мировых рынках не было «сюрпризом» для добывающих компаний морского нефте-газового сектора, прошедших в августе-сентябре 2008 г. (1) аналогичный цикл падения цен и сделавших ставку на превентивное купирование их негативных последствий за счёт ускорения развития высокотехнологичных методов обеспечения добычи и снижения себестоимости после внедрения этих методов. В частности, большое значение было придано развитию технологий автономных обитаемых подводных аппаратов и «облака» сопутствующих технологий. Способствовало этому и понимание, что морская нефтедобыча будет уходить на большие глубины, вплоть до 2 500 – 3 000 м (2). Государственное* инвестиционное и грантовое финансирование, частное венчурное финансирование научных и коммерческих предприятий, высших учебных заведений сосредоточилось на решении научных задач и достижении коммерчески применимого результата в горизонте 10 – 15 лет.

Применительно к условиям становления морской нефте-газодобычи в Арктических морях России данные тенденции вдвойне актуальны, так как добавляется такой мощный фактор природного воздействия, как ледовые условия, резко ограничивающий «окно возможностей» морских операций связанных с разведкой, обустройством, эксплуатацией морских ме-

сторождений Арктического шельфа. Безусловно, всесторонний анализ факторов, отягощающих освоение Арктики, проведённый ведущими экспертными организациями России и стран Арктической зоны, в частности участниками Русско-Норвежского проекта кооперации в нефте-газовой индустрии высоких широт (RU-NO Barents Project) определил не только сами отягощающие факторы, но и указал конкретные пути их преодоления (4), из интересующих нас – это разработка технологий использования морской робототехники с минимальным задействованием поверхностных обеспечивающих судов и более того с впервые упомянутыми в отношении Российского шельфа проектами резидентной робототехники.

Резидентная робототехника – новейший класс морских робототехнических комплексов, функционирующих в составе донной инфраструктуры нефте-газового месторождения с базированием робототехники на донные или плавучие в водной толще станции, имеющие энергетические и командные коммуникации с объектами береговой инфраструктуры. Деятельность резидентной робототехники обеспечивается как правило телеуправлением через донные станции или на основе программ выполнения задания с учётом адаптивности, реконфигурируемости и взаимодействия с другими роботами (5).

В настоящее время к уровню практической реализации в части создания и проведения опытной эксплуатации резидентной робототехники в мире подошло всего 3 компании:

* только одна программа Евросоюза Горизонт 2020 (H2020) предусматривает финансирование в 2014 – 2020 годах в объёме 80 миллиардов Евро (3).

• **IKM Subsea & Technology (HUNTER GROUP, Норвегия).**



Рис. 1. Резидентный ТПА компании IKM Subsea & Technology.

Первая компания, получившая в январе 2018 г. 10-ти летний коммерческий контракт (с возможностью 3-х 5-ти летних опционов) на выполнение работ резидентным телеуправляемым подводным аппаратом, ежегодно устанавливаемым на дно на месторождении компании Statoil на период от 3-х до 6-ти месяцев на общую сумму 750 млн. норвежских крон. Аппарат управляется с наземного центра в городе Bryne.

• **Oceaneering International, Inc. (США)**



Рис. 2. Резидентный ТПА компании Oceaneering International, Inc.

Первая компания выполнившая в 2018 г. опытную эксплуатацию в Северном море на месторождении компании Equinor резидентной робототехники с базированием на автономную донную станцию со связью с береговым пунктом управления в городе Stavanger через плавучий буй и сети 4G, а также продемонстрировавшая в 2019 г. на крупнейшей профильной выставке ОТС гибридный резидентный подводный необитаемый аппарат FREE DOM с возможностями функционирования как в телеуправляемом режиме (с управлением по кабель-тросу) на дальностях до 250 м и в автономном режиме на дальностях до 50 км (6).

• **Saab Seaeye Limited (Великобритания)**

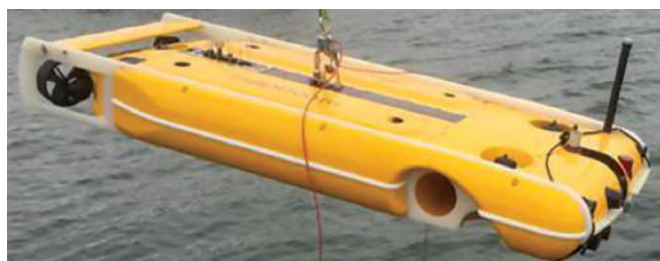


Рис. 3. Резидентный АНПА Sabretooth компании Saab Seaeye Limited.

АНПА Sabretooth этой компании одним из первых продемонстрировал возможность применения АНПА не только для мониторинговых и поисковых работ, а для выполнения сервисных задач с применением инструмента. Резидентный АНПА – обладатель премии Underwater Technology Foundation 2019 г. за развитие технологий подводных инспекций, обслуживания и ремонта в классе АНПА (7).

Кроме того, на этапе испытаний и/или производства находятся образцы резидентной робототехники у компаний Saipem (необитаемые подводные аппараты Hydrone – S (W)) и Shell (необитаемый подводный аппарат FlatFish).

Таким образом, можно отметить, что поставленные обстоятельствами задачи перед производителями морских робототехнических систем за рубежом в целом выполняются планомерно и с положительным результатом. Чему значительно способствует развитый рынок комплектующих и сопутствующих технологий в областях энергетики, связи, навигации, вычислительной техники и доступности высокотехнологической производственной базы прототипирования и серийного производства.

**РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНТЕРВЕНЦИОННОГО
АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА
И СОПУТСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕМЕНТОВ
РЕЗИДЕНТНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ.**

В Российской Федерации на сегодняшний момент мы имеем гораздо худшие условия. В связи с ограниченным размером внутреннего рынка практически отсутствует база отечественных комплектующих и технологий. Имеющиеся опытные образцы исполнены как правило в макетном варианте и не оптимизированы как по массогабаритным параметрам, так и по энергопотреблению. Заявленные характеристики, требуют уточнения и верификации, надёжность тоже желает лучшего. Тем не менее, определив для себя круг научно-практических интересов, основные тенденции развития мировых рынков и потребность внутреннего рынка, АО «НПП ПТ «Океанос» и ФГБОУ ВО СПбГМТУ объединили компетенции для планомерного создания многофункциональной морской робототехники уровня «опережающих технологий». В 2012 г. была разработана «дорожная карта» внутренних инициативных ОКР, ставящая задачу разработки теоретических основ и их практической реализации в деле создания образцов резидентной робототехники класса «интервенционный автономный необитаемый подводный аппарат» с основными преимуществами:

- возможность выполнения работ в большем на два порядка радиусе действия аппарата;
- быстрое реагирование. Мобильность. Поскольку резидентные АНПА постоянно находятся в режиме ожидания, то в случае возникновения задач, связанных с необходимостью быстрого развертывания или перемещения системы, они могут самостоятельно, в кратчайшие сроки сменить площадку базирования на заранее подготовленные станции и приступить к выполнению миссии на новом месте;
- адаптивность АНПА. Данные системы могут быть реконфигурированы и масштабированы (по количеству) в зависимости от места проведения работ и необходимых задач.

В обеспечение исполнения этих задач выполнены работы:

- создан автономный необитаемый подводный аппарат с гидродинамическими принципами движения типа «подводный планер» на котором отра-

ботаны система навигации и управления подводным аппаратом, система аварийного спасения подводного аппарата, энергетическая система подводного аппарата, программное обеспечение подготовки и анализа миссии;

- создан автономный необитаемый подводный аппарат лёгкого класса для отработки проблематики группового применения робототехники в реальных условиях;
- создан автоматизированный подводный манипуляторный комплекс с 5-ю степенями свободы.

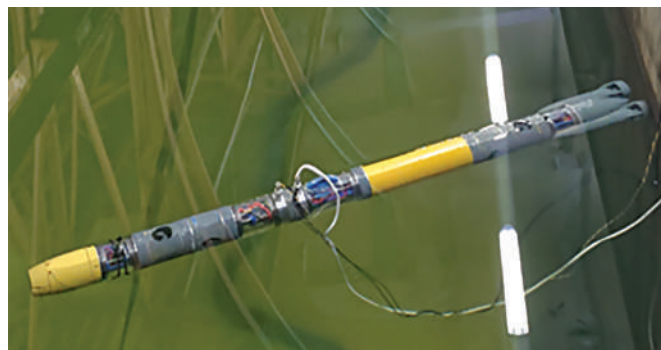


Рис. 4. АНПА подводный планер, лёгкий АНПА.

Выполненные разработки подтвердили своё качество и востребованность как полностью соответствующие и «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» (8), и в практической реализации, так «подводный планер» в ходе Первых соревнований по робототехнике «Аквароботех-2018» в г. Владивостоке занял первое место, а подводный манипулятор на сегодняшний день проходит адаптацию для использования в составе диверсифицированного специального подводного аппарата комплекса

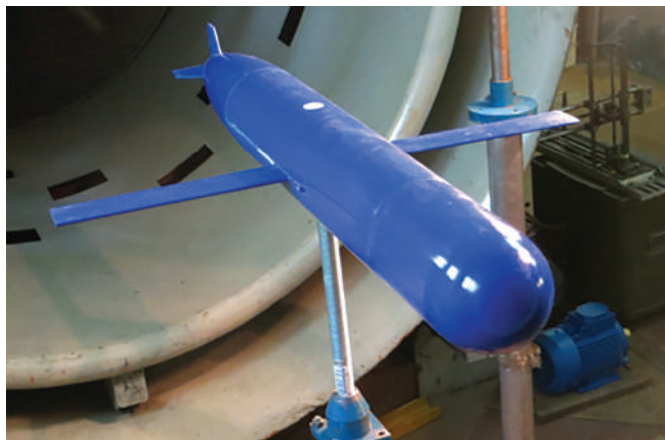


Рис. 5. Продувка в аэродинамической трубе твёрдотельной модели.



Рис. 6. Резидентный интервенционный АНПА Sabretooth с электрическим инструментом.

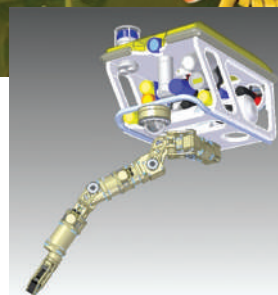


Рис. 7. 3Д моделирование манипуляторного комплекса на ТПА и фактическая отработка манипуляторного комплекса на ТПА с захватом сменного инструмента из макета инструментальной кассетницы.

«Александрит – ИСПУМ», производства АО «ГНПП «Регион». Работы характеризуются прежде всего значительной теоретической проработкой и экспериментальными исследованиями, а также максимальным уровнем импортозамещения – при создании образцов робототехники созданы собственные решения в части схмотехники и исполнения электро-радиокомпонентов, программного продукта.

Все эти работы обеспечили необходимые компетенции для создания интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата. Основное отличие интервенционного АНПА от классического, это расширенный функционал, обеспечивающий выполнение операций переключения и регулировки клапанов и вентилей, подсоединения/рассоединения электрических и гидравлических разъёмов, отбора проб, использования различного механического, электрического или гидравлического инструмента и средств неразрушающего контроля, желательного со сменой инструмента в ходе миссии. Данные возможности АНПА придаёт только

собственный манипуляторный комплекс. Частично такой расширенный функционал может быть обеспечен жёстким креплением на АНПА рабочего инструмента, так как это сделано на резидентном АНПА Sabretooth, но даже возможность менять положение инструмента на угол 900 не обеспечивает полную функциональность АНПА [9]. Хотя конечно упрощает систему управления и программное обеспечение АНПА при выполнении сервисных работ.

Учитывая этот фактор, была предусмотрена [10] поэтапная отработка автоматизированного подводного манипуляторного комплекса, начиная с отработки автономной работы манипуляторного комплекса на типовом телеуправляемом аппарате во всех основных типовых сценариях подводных операций. Для этих целей был создан натурный стенд в испытательном бассейне СПбГМТУ, где на оснащённом манипулятором собственной разработки типовом ТПА осмотрового класса проведена отработка программного обеспечения и самого манипуляторного комплекса. В процессе работ одновременно выполнялась оценка возмущающих

сокоэффективных синих светодиодов, которые излучают в диапазоне 400 - 500 нм. В зависимости от среды передачи (море, озеро и т.д.) возможно использование светодиодов с другой длиной волны, для обеспечения минимума поглощения в конкретной среде. На светодиоды, выведенные в рабочую точку на ватт-амперной диаграмме с помощью постоянного смещения, через схему усиления и согласования подается информационный сигнал на несущей частоте 30 МГц. Использование более широкой полосы затруднено тем, что при больших частотах АЧХ светодиодов резко падает, что ограничивает доступную скорость передачи.

Для компенсации узкой полосы, используются сигналы с высокими уровнями модуляции (QPSK, QAM16 и другие), это значительно увеличивает скорость передачи данных в ситуации с узкой полосой по сравнению с прямой модуляцией рабочего тока светодиода. Благодаря использованию сложных видов модуляции, разработанная система позволяет передавать до 25 Мбит/с на расстояние свыше 15 метров. Преимуществом данной системы по сравнению с системами на основе лазерного источника является относительно широкая диаграмма излучения светодиода и, соответственно, диаграмма передачи, тогда как наличие лазерного источника требует прецизионной юстировки приемника и передатчика. Направленность излучения от передатчика идет под углами $\pm 45^\circ$, обеспечивая, с одной стороны, мобильность абонента, т.к. нет необходимости подстраиваться под положение источника излучения, с другой стороны такой угол распространения дает возможность эффективно использовать мощность передаваемого сигнала. Разработанный передатчик способен работать в многопользовательском режиме и раздавать информационный сигнал до 8 абонентам одновременно. Приемник построен на основе состоит из чувствительного лавинного кремниевого фотодиода с фоточувствительностью более 10 А/Вт. Такая высокая фоточувствительность позволяет принимать сигнал от передатчика на расстояниях в десятки метров. Высокочастотные фильтры в электрической цепи приемника практически полностью отсекают постоянную составляющую сигнала, а это значит, что фоновая засветка не будет влиять на передаваемый информационный сигнал.

Использование системы оптической беспроводной связи обеспечило возможность передачи

онлайн потокового видео с нескольких видеокамер носителя, служебной информации, но и обратный поток команд, программ, что обеспечило не только решение вопросов упрощения системы управления АНПА, управления манипулятором при работе на стенде устьевого оборудования, но и заметно упростило процесс навигации и докования АНПА на донные и плавающие в водной толще доковые станции.



Рис. 10. Общий вид системы из стационарного приёмопередатчика, размещённого на натурном стенде и мобильного приёмопередатчика на ТПА.

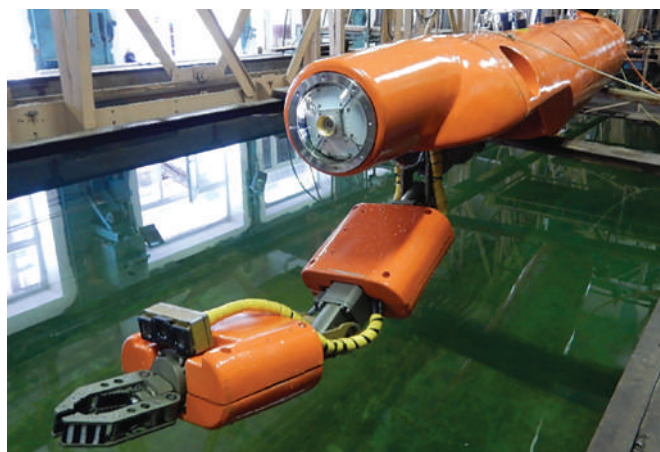


Рис. 11. Демонстратор технологий интервенционного АНПА с комплексом оптической беспроводной подводной связи перед экспериментальным спуском.

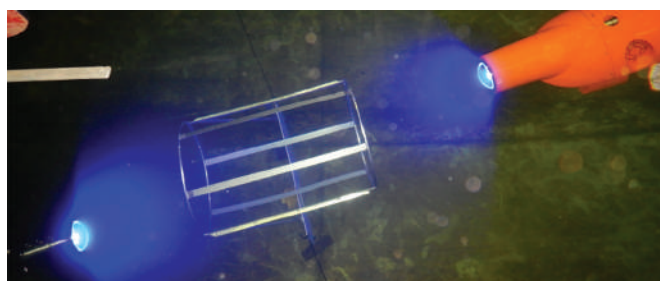


Рис. 12. Демонстратор технологий интервенционного АНПА маневрирует у докового устройства, наводимый оператором по оптическому беспроводному каналу связи. .

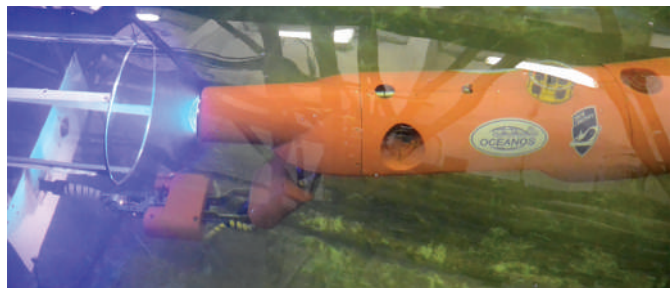


Рис. 13.

Работа демонстратора технологий интервенционного АНПА автоматизированным подводным манипуляторным комплексом со сменным инструментом (извлеченным из кассетницы АНПА) с стабилизацией АНПА по оптическому каналу и управлением манипуляторным комплексом по оптическому каналу. На верхней поверхности АНПА хорошо просматривается классическая система гидроакустической навигации с ультра-короткой базой и модемом гидроакустической связи разработки и производства СПбГМТУ.

Заметное упрощение вышеприведенных операций обеспечивают системы навигации и стабилизации подводного аппарата по оптическому каналу. Эту проблему с блеском практически решили с помощью представителей АО «ЗИТЦ», создав и также предварительно отработав на ТПА систему определения ориентации подвижных объектов по видеоизображению.

Для определения различными подвижными объектами (наземными, воздушными, подводными) собственного положения в пространстве и восстановления траектории своего движения могут использоваться различные способы и методы, такие, например, как: инерциальные навигационные системы (ИНС), системы спутникового позиционирования (GPS), системы визуальной одометрии (SLAM), и т.д. Применение систем, основанных на использовании различных микромеханических датчиков (акселерометров, магниторезисторов, датчиков угловых скоростей) – может быть осложнено помехами, которые присутствуют в тех или иных комплексах (например, помехами от магнитных муфт в двигателях подводных аппаратов). А область применения систем позиционирования, основанных на спутниковой навигации – ограничена условиями видимости необходимого количества спутников. В связи с вышеуказанным, нами были разработаны математические алгоритмы и методы, позволяющие определять траекторию движения «носителя» при помощи анализа изображения, поступающего с установленных на нем видеокамер (видимого или инфракрасного диапазонов). Данные методы основаны на широко распространенных алгоритмах семейства SLAM (simultaneous localization and mapping) с добавлением детекторов ключевых точек ORB (oriented fast and rotated brief) [15]. Суть методов заключается в выборе на каждом кадре видеоряда по определенным критериям (ORB) неких характеристических точек для последующего

анализа [16;17]. Сформированное в текущем кадре облако точек сравнивается по определенному алгоритму с такими же наборами, полученными по предыдущим кадрам видеоряда. В случае совпадения (с точностью до аффинного преобразования) последовательности характеристических точек – делается вывод о том, что эти кадры логически связаны между собой, и затем вычисляются поворот, изменение масштаба и сдвиг системы координат, которые произошли между предыдущими и текущим кадром. По этим параметрам и определяется перемещение «носителя» от кадра к кадру относительно визуальной сцены [18]. Данный набор разработанных алгоритмов позволяет выполнять построение траектории движения «носителя» с достаточно хорошей точностью, и, кроме того, по информации от визуального канала определения траектории движения может быть скорректирована в реальном времени накапливающаяся погрешность инерциальной навигационной системы, при ее наличии в комплексе. Что позволяет осуществлять позиционирование «носителя» относительно окружающей среды с еще большей точностью.

В отличие от существующих решений (например, присутствующих в библиотеке OpenCV и подобных), разработанные нами алгоритмы позиционирования по изображению [19] позволяют подвижному объекту возвращаться в точку «вылета» с достаточно малой погрешностью (например, при тестовом полетном квадрокоптера [рис. 14], ошибка при его приземлении «по изображению» составила около 2,5 м. [20].

Применение же подобных методов для области подводной робототехники позволяет осуществлять навигацию и ориентирование [рис. 15 и 16] различных подводных аппаратов (ТПА, АНПА) там, где это до сих пор не представлялось возможным, либо осуществлялось с достаточно большими, накапливаемыми со временем, погрешностями [21].



Рис. 14. Демонстрация определения положения квадрокоптера в пространстве, путем анализа только лишь видеоизображения с его камеры, без инерциальных и спутниковых навигационных систем..

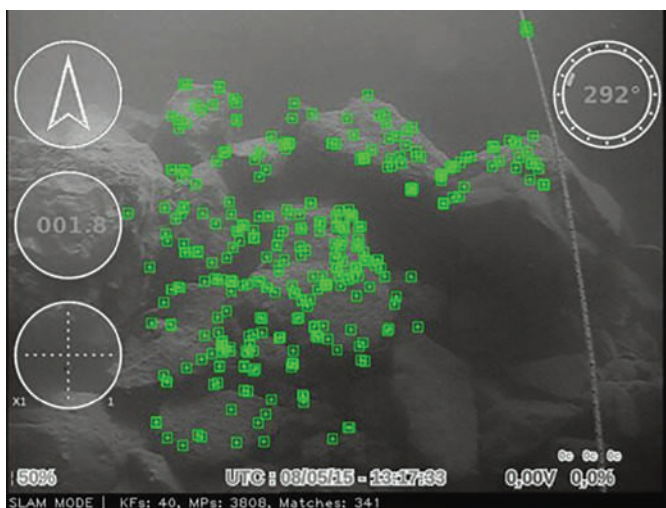


Рис. 15. Ориентирование ТНПА TurtleROV2 (ELMICS) под водой при помощи анализа видеоизображения (погружение 1).

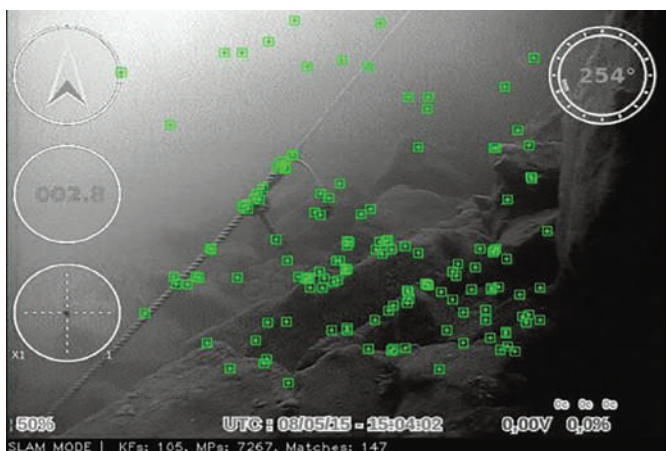


Рис. 16. Ориентирование ТНПА TurtleROV2 (ELMICS) под водой при помощи анализа видеоизображения (погружение 2).

Помимо указанных методов определения траектории движения «носителя» по изображению, возможна, также, реализация в ТПА или АНПА следующих методов:

- Цифровой стабилизации изображений (только по изображению, без каких-либо датчиков и дополнительных устройств).
- Восстановления 3D-сцены по серии фотографий, сделанных с разных точек (например, восстановление рельефа дна водоема после прохода аппарата над ним).
- Автоматического сопровождения подводных объектов, путем управления движением и перемещением самого аппарата, сопровождающего выбранный оператором объект интереса и компенсирующего, таким образом, влияние течений и прочих присутствующих возмущений (например, рывков за кабель-трос).
- Управление манипуляторными комплексами, установленными на подводный аппарат, при помощи анализа перемещений кисти оператора перед видеокамерой наземного комплекса управления.
- Работа как с обычными изображениями, получаемыми с видеокамер, так и с синтезированными изображениями, получаемыми, например, с сонаров или гидролокаторов.

Актуальность этих работ подчёркивает более чем 20-ти летняя целенаправленная деятельность Университета Жироны по созданию и отработке всего изложенного комплекса компетенций и технологий в части создания интервенционного АНПА резидентного базирования. Тем не менее созданный в течении 7-ми последних лет научно-практический задел позволяет высказать уверенность, что есть все возможности без потери темпов перейти от демонстратора технологий к созданию с учётом пожеланий конкретного заказчика специализированного или многофункционального робототехнического комплекса мирового уровня. В обеспечение как нужд морского нефтегазового комплекса, так и удовлетворения государственных потребностей в оборонной, экологической и иных областях. Эту уверенность поддерживают и санкции правительства США [13], наложенные на АО «НПП ПТ «Океанос» после победы АНПА «подводный планер» на Всероссийских соревнованиях по морской робототехнике 2018 г.



Рис. 17. Демонстратор технологий интервенционного АНПА.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) <https://worldtable.info/yekonomika/cena-na-neft-mar-ki-brent-tablica-s-1986-po-20.html>.
- 2) BP *Frontiers magazine*, Issue 11, T. Knott, *Delving deeper* 2004.
- 3) «Delving Deeper: Critical challenges for 21 st century deep-sea research» Position Paper 22 of the European Marine Board, Ostend, Belgium. Second edition 2015 p.139.
- 4) RU-NO Barents Project, *Pipelines and Subsea Installations-Report*, Oslo, Norway. 2014 p.74.
- 5) ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения.
- 6) *UT2 magazine*, Issue 4, Resident E-ROV, 2018 p. 32 – 49.
- 7) Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 г. № 1930-р.
- 8) *Offshore Engineer magazine*, June 12, 2019.
- 9) https://auvac.org/uploads/publication_pdf/Sabertooth%20AUV%20UUST%202013.pdf.
- 10) https://oceanos.ru/s1/files/File/2016_Naftegaz_manip.pdf.
- 11) Filaretov V., Konoplin A., Konoplin, N., Gorbachev G., *Control System for Underwater Vehicle With Multilink Manipulator for Automatic Manipulation Operations*, *Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium*, pp.0714-0720, B. Katalinic (Ed.), Vienna, Austria, 2016.
- 12) https://oceanos.ru/s1/files/File/2016_NOZ_glider_manip.pdf.
- 13) <https://oceanos.ru/news/273>.
- 14) <https://oceanos.ru/news/328>.
- 15) ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF - *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* Rublee, Ethan; Rabaud, Vincent; Konolige, Kurt; Bradski, Gary (2011).
- 16) *Simultaneous localization and mapping: part I - IEEE Robotics & Automation Magazine*. 13 (2): 99–110. Durrant-Whyte, H.; Bailey, T. (2006).
- 17) *Simultaneous localization and mapping (SLAM): part II - IEEE Robotics & Automation Magazine*. 13 (3): 108–117. Bailey, T.; Durrant-Whyte, H. (2006).
- 18) *Exploration: Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) - Computer Vision: A Reference Guide*, Springer US, pp. 268–275 Perera, Samunda; Barnes, Dr.Nick; Zelinsky, Dr.Alexander (2014), Ikeuchi, Katsushi (ed.).
- 19) *Coefficient Estimation of the Energy Functional Area Term for Image Segmentation - 2015 IEEE NW Russia, Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW)*, p.288-290 Turkin A., Sotnikov A., Fionov D., Shipatov A., Belloc C.
- 20) <https://drive.google.com/open?id=0B2SkyKzqaYefalls-MF9wODZYN2s>.
- 21) <https://www.youtube.com/watch?v=21kqiOovTSQ>.

ООО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И ГАЗОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ – ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ»

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОГНОЗНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ ОСВАИВАЕМЫХ
ГАЗОНЕФТЕКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА**

Авторский коллектив:

*Мансуров Марат Набиевич,
Бородин Сергей Александрович,
Гереш Галина Михайловна,
Копеева Людмила Анатольевна,
Лаптева Татьяна Ивановна,
Николаев Олег Валерьевич,
Стоноженко Иван Васильевич.*

Освоение углеводородных ресурсов арктического шельфа является стратегической и долгосрочной задачей энергетического развития Российской Федерации. Ресурсный потенциал проектов разработки нефтегазовых месторождений шельфа огромный, однако, он сдерживается сложностью освоения, обусловленными природными, технологическими и экономическими причинами.

Хотя современные технологии освоения месторождений углеводородов (УВ) предполагают внедрение информационно-коммуникационных моделей по всей цепочке производственного цикла, промышленное освоение месторождений арктического и дальневосточного шельфа, которое осуществляется без стадии опытно-промышленной эксплуатации и с привлечением значительных капитальных вложений, только на основе методов цифровизации может приводить к неоправданным ошибкам. Отмеченное подтверждается выводами статьи [1]¹, в которой, как утверждает автор, выявлена парадоксальная зависимость: по мере внедрения современных методов гидродинамического моделирования при проектировании разработки нефтяных месторождений качество выполнения проектных уровней добычи нефти неуклонно снижается (рис. 1).

По мнению авторов [2]², столь большие система-

тические погрешности между проектными и фактическими показателями, обусловлены тем, что регламенты оценки извлекаемых запасов и проектирования разработки содержат серьезные методические ошибки.

Низкая степень обоснованности технологических режимов в основном обусловлена тем, что для большинства определяющих факторов морского месторождения соответствующие теоретические основы, доступные для промысловиков, практически отсутствуют, а применяемые подходы не достаточно адекватно отражают во всей полноте совокупность реальных физических процессов, происходящих в пласте и в стволе скважины. Поэтому принимаемые критерии оказываются весьма условными.

К сожалению, неадекватность цифровых программных пакетов довольно часто не воспринимается лицами, принимающими решения.

Следует также отметить, что для морских месторождений изменения (адаптации) технологических схем из-за изменения величин и структуры размещения запасов, выявленных в процессе начального этапа разработки практически не осуществимы. Как показывают исследования динамики и структуры капиталовложений в разработку конкретных нефтяных месторождений Западной Сибири (более 120 месторождений) [3]³, изменения

1. — [1] Шелепов, В.В. О состоянии разработки месторождений УВС и мерах по совершенствованию проектирования их разработки / В.В. Шелепов // Сборник избранных статей, посвященный 50-летию деятельности ЦКР по УВС «Состояние и дальнейшее развитие основных принципов разработки нефтяных месторождений». – М.: Недра-XXI. – 2013. – С.8-20.

2. — [2] Муслимов, Р.Х. О точности прогноза технологических показателей разработки нефтяных месторождений / Р.Х. Муслимов, В.Н. Михайлов, Ю.А. Волков // Oil&Gaz Россия. – 2015. – № 8(96). – С. 62-69.

3. — [3] Хасанов, М.Х. Анализ эффективности резервирования нефтепромысловых систем на стадии проектирования / М.Х. Хасанов // В кн.: Проблемы развития Западно-Сибирского нефтегазового комплекса. – Новосибирск: Наука. – 1983. – С.115-125.



Рис. 1. Сравнительная диаграмма уровней нефтедобычи в России [1].

технологических схем, позволяющих на 30–35 % увеличить добычу, приводят к кратному (в 2,5–3 раза) росту дополнительных капиталовложений. Очевидно, что для морских месторождений такие изменения приведут к более значительным дополнительным капиталовложениям.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА

Открытые и планируемые к вводу в разработку шельфовые газоконденсатные месторождения (Южно-Кириновское, Штокмановское, Ленинградское, Русановское и др.) являются, по существу, уникальными, а целью их освоения является обеспечение проектного уровня добычи в течение длительного срока эксплуатации в экстремальных природно-географических условиях арктического и субарктического регионов.

Для достижения указанной цели необходимо решение ряда задач, важнейшими из которых являются обоснования конструкций и технологических режимов работы скважин, непосредственно влияющих на экономические показатели добычи УВ (объемы капитальных вложений и эксплуатационных затрат) и поставки его потребителю.

Надежное прогнозирование технологических режимов морских газоконденсатных скважин, осложненных невыявленными геолого-физическими и фильтрационно-емкостными параметрами конкрет-

ных месторождений (как, неоднородности пластов, фазовый состав и свойства пластовых флюидов, активность пластовых вод, другие технологические и технические факторы, влияющие на работоспособность промысловых систем), является другой важнейшей задачей.

Указанные цель и задачи реализации проекта достигаются:

- методами экспериментальных исследований и теоретического анализа термогидродинамических процессов по всей технологической цепочке «пласт–скважина–шлейф–промысловый трубопровод–УКПГ» в течение всей «жизни» проекта для обеспечения необходимой точности расчетных моделей;
- разработкой рациональных конструкций и технологий эксплуатации скважин с присутствием жидкости;
- отработкой технологий эксплуатации промысловых систем и оптимальных алгоритмов управления их работой.

Целостность процесса разработки морского месторождения – от моделирования пласта до выбора схемы заканчивания скважин, получения первой продукции и последующей длительной эксплуатации месторождения, должна обеспечиваться гибкостью и адаптивностью проектных

решений, поскольку имеются множество существенных факторов, которые выявляются лишь в ходе реализации проекта, а их игнорирование, по закону «падающего бутерброда», почти всегда имеет негативные последствия, что приводит к неоправданному повышению капитальных затрат и эксплуатационных расходов, а зачастую и к потере углеводородного сырья.

Ключевым аспектом в снижении рисков является достижение существенно более детального понимания фундаментальных физических и химических свойств горных пород и флюидов, которые оказывают решающее влияние на суммарную добычу и экономические показатели проекта. Отработка технологий добычи продукции в модельных условиях конкретного морского месторождения с учетом вариаций параметров геологических и гидродинамических неопределенностей позволяет существенным образом снизить реальные риски. Это требует существенного расширения экспериментальных исследований для понимания процессов фильтрации и течения в геолого-физических условиях конкретного месторождения. Мировой опыт подтверждает эффективность такого инструмента испытания технологий и разработок. Известны полигоны: Rocky Mountain Oilfield Testing Center (США), ProlabNL B.V. (Нидерланды), Ullrigg Drilling and Well Centre (Норвегия) и др.

Практическими условиями для экспериментальных исследований в России обладает ООО «Газпром ВНИИГАЗ», в котором с 60-х годов прошлого столетия эксплуатируются модельные стенды для исследований вертикальных, наклонных и субгоризонтальных потоков, диагностики газожидкостных потоков в призабойной зоне скважин и трубопроводах сложной конфигурации и др.

Комплексные исследования технологий на экспериментальных установках позволяют минимизировать риски, связанные с надежностью прогнозирования и обеспечения проектной добычи, а полученные результаты использовать на всех стадиях проектирования разработки и обустройства, выбора конструкции скважин и элементов промыслового обустройства, определения режимов

эксплуатации и алгоритмов управления промысловыми системами в конкретных геолого-промысловых условиях реального месторождения. В качестве примера, демонстрирующего недостаточную точность модельных расчетов в сравнении с экспериментальными результатами, на *рис. 2* приведена экспериментально полученная гидравлическая характеристика скважины при течении газоконденсатной смеси, в сравнении с расчетами по гомогенной модели газожидкостной смеси и модели сухого газа.

Полученные массивы экспериментальных данных позволят расширить спектр математических методов многофазной гидродинамики, а также разработать новые программные комплексы для расчетов технологических режимов работы скважин, шлейфов, УКПГ конкретных морских месторождений. Проведенные в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» комплексные и аналитические исследования для месторождений суши способствовали повышению прогнозной эффективности эксплуатации скважин и промысловых систем при наличии в продукции скважин жидкой фазы [3]⁴.

ОЖИДАЕМЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проектирование разработки и обустройства морских месторождений осуществляется, как правило, в условиях недостаточной изученности начальных потенциальных ресурсов, обусловленных малым количеством разведочных скважин, отсутствием опытно-промышленной эксплуатации, а также уникальностью каждого проекта морской нефтегазодобычи.

Надежное прогнозирование возможной продуктивности скважин в течение длительного срока эксплуатации с использованием современных программных продуктов и специальных приёмов (сгущение расчётных сеток и др.) практически неосуществимо. Реальное решение этой проблемы может быть достигнуто только путем проведения предварительных комплексных экспериментальных исследований и их теоретического анализа.

Экспериментальные исследования технологий эксплуатации морских скважин, в стволе и на забое

4. — [3] Федулов Д.М. и др. Изменение свойств нестабильного углеводородного конденсата при движении флюида газоконденсатных месторождений в системе «пласт-скважина-шлейф». Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов – М: Газпром ВНИИГАЗ, № 2 (30), 2017.

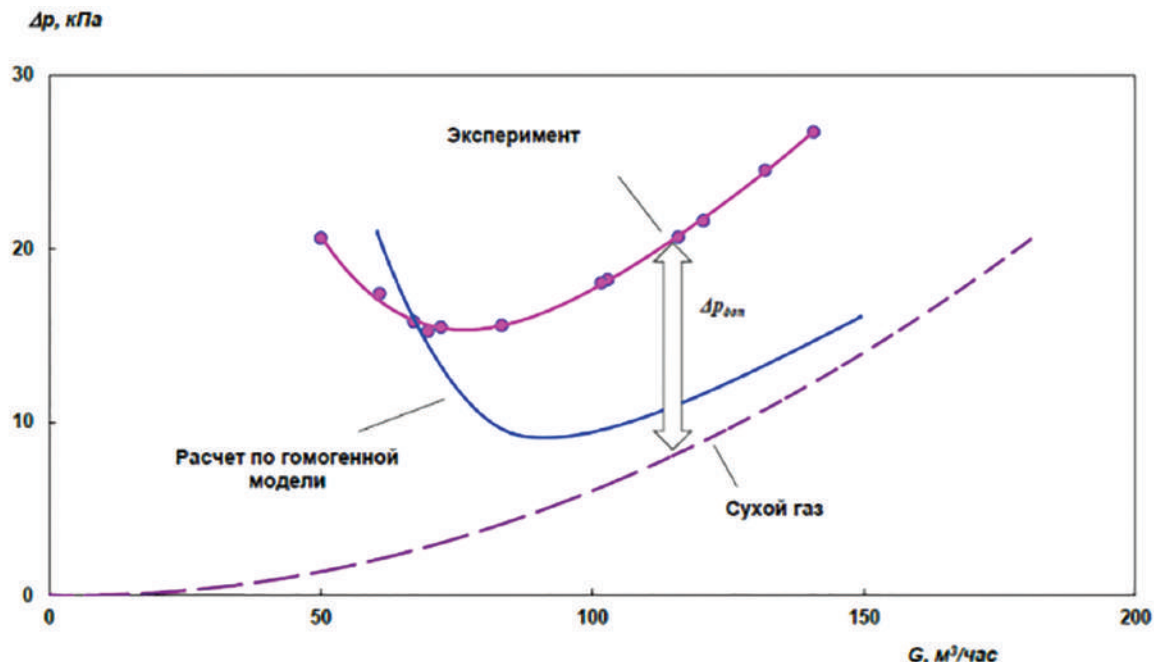


Рис. 2. Сравнение экспериментальных результатов течения газоконденсатной смеси в скважине с расчетами по гомогенной модели газожидкостной смеси и модели сухого газа.

которых может присутствовать жидкость в разных количествах, позволят:

- обосновать оптимальные величины диаметра и глубины спуска лифтовых колонн, рациональные профили наклонно-направленных и горизонтальных скважин, а также параметров газлифта для конкретного месторождения;
- учесть взаимное влияние элементов промысловых систем обустройства друг на друга и оптимизировать работу промысла при наличии жидкости в продукции;
- уточнить требования и внести дополнения в нормативные документы по гидродинамическим исследованиям скважин.

Экспериментальные исследования закономерностей многофазной гидродинамики в промысловых объектах морского месторождения позволят прогнозировать:

- параметры газожидкостных потоков в вертикальных, наклонных и горизонтальных участках труб при течения многофазных потоков «газ–вода–конденсат»;
- параметры локальных структур и пульсационных процессов, а также эффективность волновых и других физико-химических воздействий на характеристики в мультифазных потоках.

Теоретический анализ результатов экспериментальных исследования позволит:

- усовершенствовать существующие и разработать новые расчетные модели, а также обеспечить их необходимую точность;
- расширить спектр математических методов многофазной гидродинамики (теории фракталов, случайных процессов, хаоса, нечетких множеств и т.д.).
- разработать отечественные программные комплексы для расчетов технологических режимов работы скважин, шлейфов, УКПГ, промыслов.

Отработка технологий эксплуатации газоконденсатных скважин морских месторождений путем проведения специальных стендовых исследований и адаптации разработанных моделей позволит обеспечить:

- 1) устойчивую работу скважин, шлейфов и промысловых систем при наличии жидкости в продукции;
- 2) эффективное использование пластовой энергии в системах добычи углеводородной продукции;
- 3) точность прогноза поведения промысловых систем;
- 4) максимальное извлечение углеводородов из залежи.

Указанные экспериментальные исследования и теоретический анализ полученных результатов позволят:

- повысить продуктивности промысловых систем не менее чем 10%;
- повысить коэффициенты извлечения газа и конденсата за расчетный период не менее чем 3%;
- снизить удельные капитальные затраты не менее чем 5%; эксплуатационные расходы при добыче газа и конденсата не менее чем 5%.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРОЕКТА

При оценке экономического эффекта от предлагаемого проекта в качестве исходной предпосылки

принимается достаточно мягкое условие, что не прогнозируемое снижение продуктивности скважин на условном газоконденсатном месторождении «Сахалинское» приведет к снижению объемов добычи на 10 %.

Достижение основной цели проекта по надежному прогнозированию влияния технологических и технических факторов на работоспособность промысловых систем, а также оптимизация технико-технологических параметров скважинных и промысловых систем позволит исключить снижение чистого дохода на 35 млрд рублей, а условный Индекс эффективности составит $ИЭр = 86,42$.