

РЕЗИДЕНТНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

как эффективный инструмент обеспечения подводных газо- и нефтепромыслов

Маевский Андрей Михайлович

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

Занин Владислав Юрьевич

АО «НПП ПТ «Океанос»

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

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

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

Актуальность развития морской резидентной робототехники

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

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

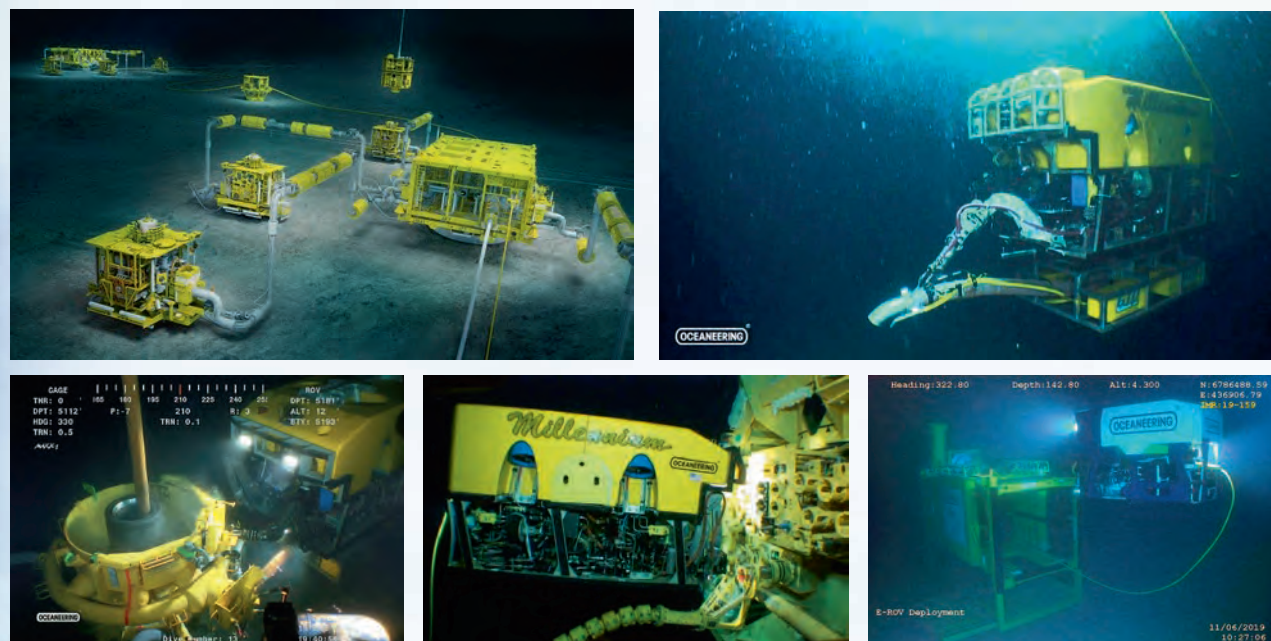
ФАКТЫ

На **130**

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

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

РИС. 1. Вид подводной инфраструктуры месторождения и сервисных ТНПА



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

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

ФАКТЫ

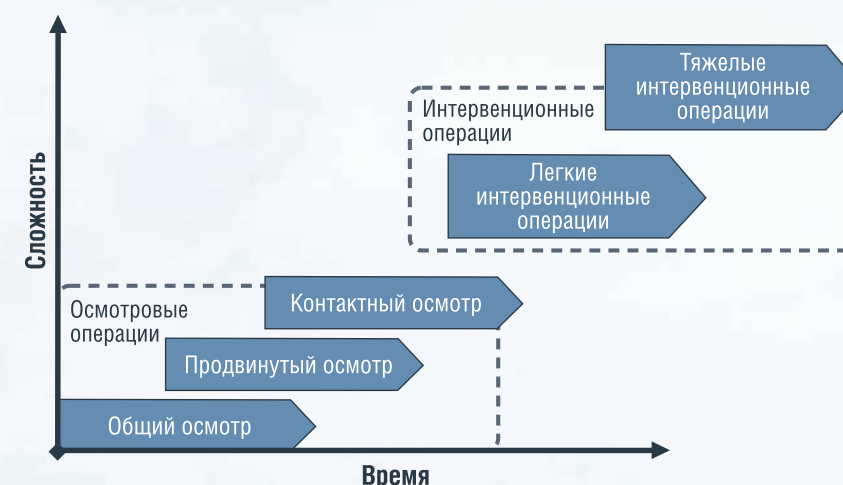
Резидентная робототехника

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

Резидентная робототехника – современный тренд в области освоения шельфовых месторождений

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

РИС. 2. Сложность различного типа подводных операций



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

ФАКТЫ

Интервенционные необитаемые аппараты,

как правило, гибридных исполнений отличаются многофункциональностью и высоким уровнем интеллектуализации

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

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

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

РИС. 3. Интервенционные ТНПА/АНПА резидентного базирования

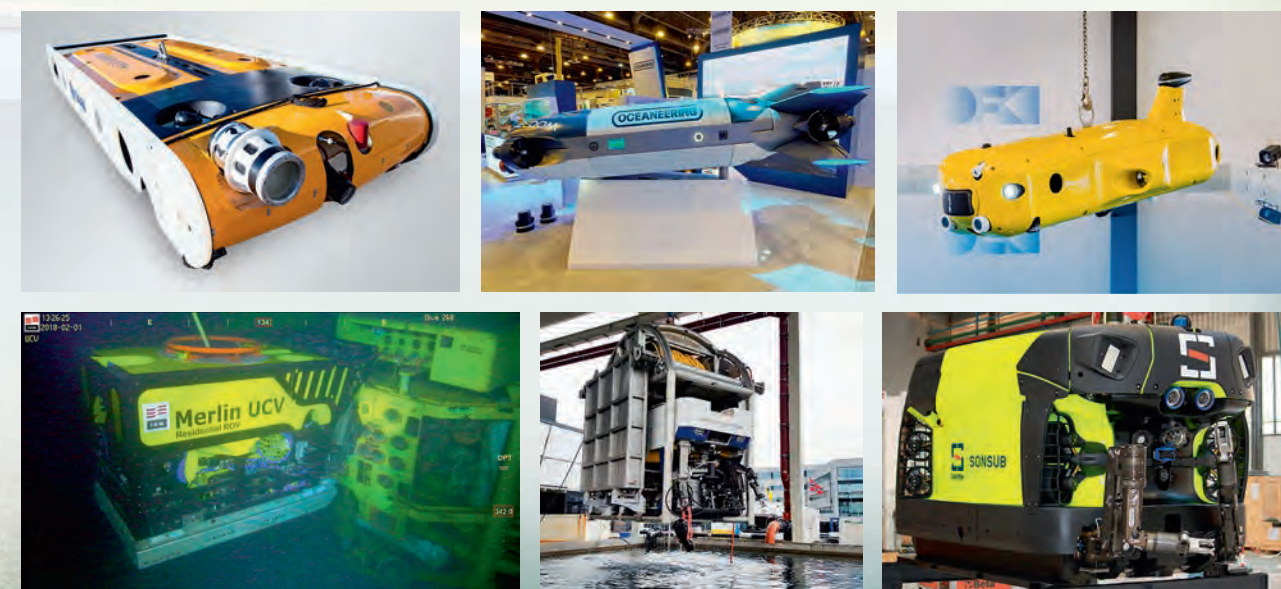


РИС. 4. Унифицированная донная доковая станция и реально апробированные варианты размещения резидентных ТНПА/АНПА



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

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

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

Отечественное направление исследований и разработок в сфере резидентной робототехники

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

ФАКТЫ Управление МРТК

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

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

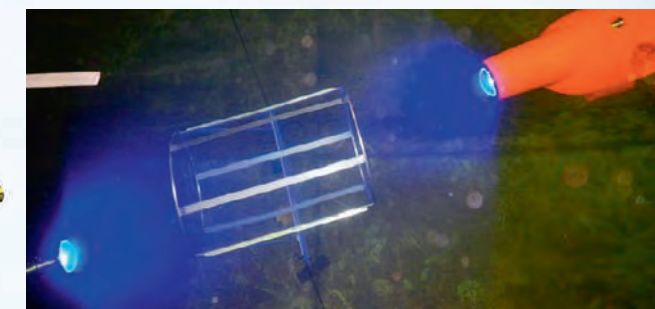
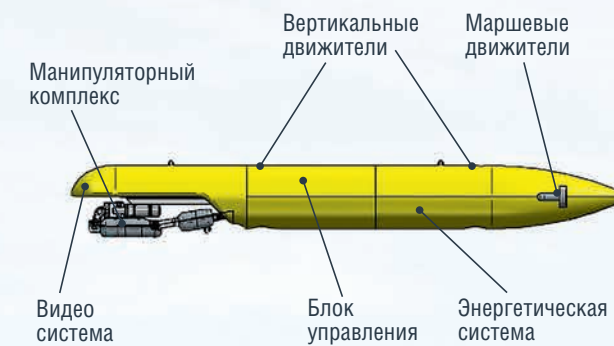
АО «НПП ПТ «Океанос» совместно с ФГБОУ ВО СПбГМТУ с 2012 года ведет инициативную последовательную разработку ряда инновационных проектов, направленных на развитие сферы резидентной робототехники [20–23]. Подводный глайдер и манипулятор, волновой глайдер, кастомизированные ТНПА, а также направление морских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

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

РИС. 5. Демонстратор технологий легкого интервенционного АНПА



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



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

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

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



ФАКТЫ

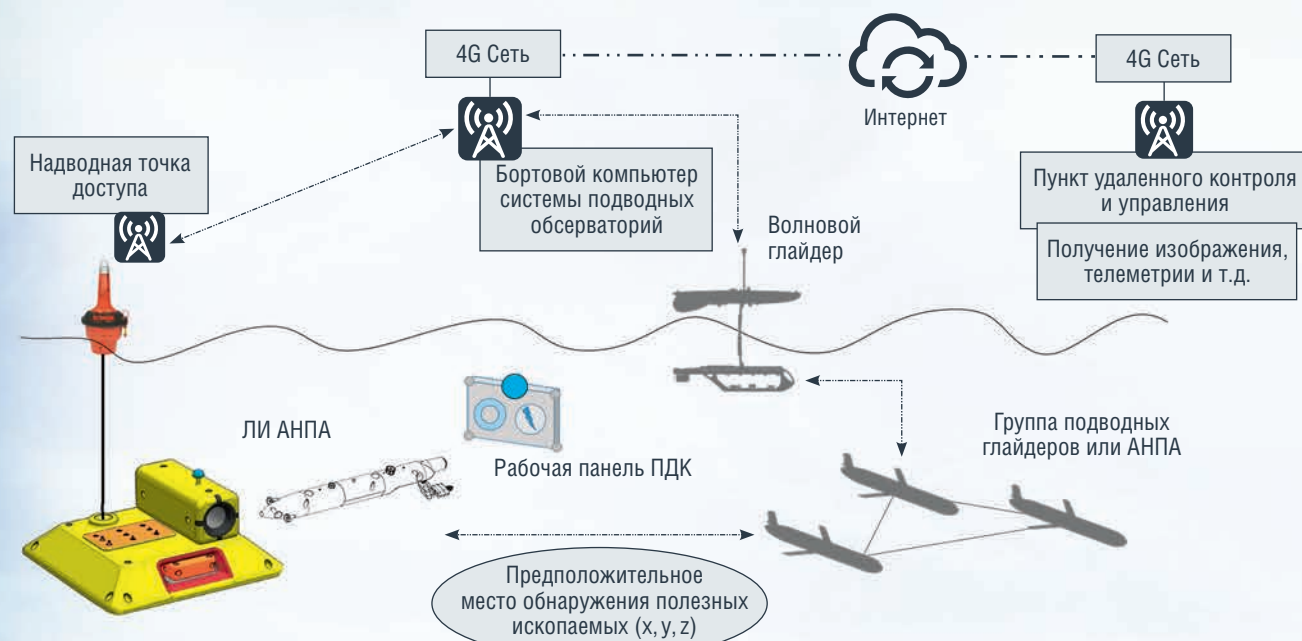
В 2018 г.

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

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

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

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



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

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

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

ФАКТЫ

ЛИ
АНПА

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

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

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

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



Заключение

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

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

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

Литература

1. «Рост рынка глубоководных работ на шельфе Западной Африки» 2019. <https://oceanos.ru/news/345> (дата обращения: 28.10.2021).
2. «Technology, digitalisation and innovation» 2021. <https://www.equinor.com/en/what-we-do/digitalisation-in-our-dna.html> (дата обращения: 27.10.2021).
3. Голядкина С.С., Харченко Ю.А., «Анализ рисков морских операций с помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов» 2020. Газовая промышленность № 3 (798) — с. 34–37.
4. Жильцов Н.Н. «Современное состояние и перспективы развития оперативной океанологии в целях обеспечения ВМФ» // Материалы научной конференции «Перспективы развития Гидрографической службы Военно-морского флота до 2030 года». — 2017. — Записки по гидрографии № 301. — С. 16–24.
5. «Oceanering Announces Contract with Statoil for E-ROV Concept Development and Testing» 2017. <https://www.oceanering.com/oceanering-announces-contract-statoil-e-rov-concept-development-testing/> (дата обращения: 27.10.2021).
6. «Norwegian Minister of Petroleum and Energy Kjell-Børge Freiberg visits IKM Subsea» 2017. <https://www.ikm.com/news/norwegian-minister-of-petroleum-and-energy-kjell-borge-freiberg-visits-ikm-subsea> 2017. (дата обращения: 27.10.2021).
7. «Oceanering Announces Equinor Contract Award for E-ROV Services» 2018. <https://investors.oceanering.com/financial-press-releases/press-release-details/2018/Oceanering-Announces-Equinor-Contract-Award-for-E-ROV-Services/default.aspx> (дата обращения: 27.10.2021).
8. «Подводные глайдеры в поисках углеводородов» 2018. <https://oceanos.ru/news/276> (дата обращения: 28.10.2021).
9. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Тарадонов В.С., Блинков А.П., Кожемякин И.В., Токарев М.Ю., Бирюков Е.А. Концепция роботизированной подводной сейсмозащелки в подледных акваториях // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018. — С. 64–87.
10. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Вести газовой науки, (2(39)), 2019. С. 29–40.

11. Daniel O.B. Jones, Andrew R. Gates, Veerle A.I. Huvenne, Alexander B. Phillips, Brian J. Bett «Autonomous marine environmental monitoring: Application in decommissioned oil fields» Science of the Total Environment, 2019. www.elsevier.com/locate/scitotenv (дата обращения: 29.10.2021).
12. Маевский А.М., И.А. Печайко, С.А. Турсенев Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // «Проблемы управления рисками в техносфере». № 2, 2021.
13. «Подводный добычный комплекс» <https://sahalin-shelf-dobycha.gazprom.ru/about/technologies/pdk/> (дата обращения: 29.10.2021).
14. «Statoil's subsea factory tackles the power source hurdle» <https://www.offshore-mag.com/subsea/article/16758571/statoils-subsea-factory-tackles-the-power-source-hurdle> (дата обращения: 29.10.2021).
15. «Invisible platforms» <https://www.equinor.com/en/magazine/the-final-frontier.html> (дата обращения: 29.10.2021).
16. «Ormen Lange Gas Field Project, North Sea Northern» <https://www.offshore-technology.com/projects/ormen-lange-field/> (дата обращения: 29.10.2021).
17. «Ormen Lange Accrued Investments in Nominal NOK» <https://www.norskpetroleum.no/en/facts/field/ormen-lange/> (дата обращения: 29.10.2021).
18. «Ormen Lange Gas Field. Seismic survey and seafloor monitoring» <https://www.nseenergybusiness.com/projects/ormen-lange-gas-field/> (дата обращения: 29.10.2021).
19. «Remotely-operated surface vessel compiles Ormen Lange seafloor data» 2020. <https://www.offshore-mag.com/geosciences/article/14174730/remotely-operated-surface-vessel-compiles-ormen-lange-seafloor-data> (дата обращения: 29.10.2021).
20. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка легкого интервенционного автономного необитаемого подводного аппарата в целях использования в подводных резидентных системах // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах» / Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета. 2019. — с. 83–98.
21. Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года. М., Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп» 2019. — С. 14–22.
22. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка морских робототехнических комплексов с перспективой применения в качестве резидентной робототехники, на примере проектной работы по разработке линейки АНПА «Глайдер — Гибридный Глайдер — I-AUV» Комплексные исследования Мирового океана. Материалы IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Севастополь, 22–26 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]. — Севастополь: ФБНУ МГИ. — Режим доступа: http://mhi-ras.ru/news/news_201904151055.html, свободный, 2019. — С. 395–398.
23. Волошин С.Б., Занин В.Ю. Маевский А.М. и др. Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны. — Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 года. — М., Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2020. — С. 62–77.
24. I. C. da Cunha Lima, A. T. da Cunha Lima, G. da Silva Costa, M. P. Almeida, A. Ruiz and M. Reis, «Effects of torque produced by wake on the maneuverability of a flatfish autonomous underwater vehicle», OCEANS 2017 — Anchorage, 2017, pp. 1–4.
25. B. Johansson, J. Siesjö and M. Furuholm, «Seaeeye Sabertooth A Hybrid AUV/ROV offshore system», OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE, 2010, pp. 1–3, doi: 10.1109/OCEANS.2010.5663842.
26. Delaney, J.R., D.A. Manalang, A. Marburg, A. Nawaz, and K. Daly. Report of the Resident AUV Workshop, 9–11 May 2018. APL-UW TR 1901, Technical Report, Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, March 2020. 84 pp
27. D. Ribas et al., «I-AUV Mechatronics Integration for the TRIDENT FP7 Project», in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 5, pp. 2583–2592, Oct. 2015, doi: 10.1109/TMECH.2015.2395413.
28. N. Palomeras et al., «I-AUV docking and intervention in a subsea panel», 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014, pp. 2279–2285, doi: 10.1109/ROS.2014.6942870.
29. «Резидентная робототехника» https://oceanos.ru/resident_general (дата обращения: 29.10.2021).
30. «Подводный манипуляторный комплекс» https://oceanos.ru/manip_general (дата обращения: 29.10.2021).
31. «Бездрыжковое управление» https://oceanos.ru/resident_nojostick (дата обращения: 29.10.2021).
32. <https://oceanos.ru/news/338> (дата обращения: 29.10.2021).
33. Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. «Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт» Морские информационно-управляющие системы № 1 (17), 2020. — с. 94–102.
34. Маевский А.М., Занин В.Ю. Кожемякин И.В. «Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным АНПА на основании поведенческих методов» Известия ЮФУ. Технические науки Izvestiya sfedu. engineering sciences. № 1 (211), — Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2020. — С. 119–134.

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