

ЗАДАЧИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УДК 622.279.04

П.В. Крылов, к.т.н., 000 «Газпром 335» (Санкт-Петербург, РФ)

В.Ю. Шарохин, 000 «Газпром 335»

А.А. Выдра, 000 «Газпром 335»

Д.А. Лихович, 000 «Газпром 335», inf@gazprom335.ru

А.С. Авилов, 000 «Газпром 335»

Статья посвящена актуальной теме отечественной нефтегазовой отрасли – освоению подводных технологий добычи углеводородов. При освоении шельфовых месторождений Российской Федерации при проектировании учитываются особенности не только основного оборудования, но и оборудования мониторинга и обслуживания. Перспективы освоения шельфа, в том числе Арктического, осложнены ледовой обстановкой (безледный период длится не более нескольких месяцев в году) и удаленностью от берега, что вызывает необходимость постоянного мониторинга и обслуживания без привлечения специализированных судов и водолазов.

В статье рассматриваются существующие технологии и решения, проанализированные ООО «Газпром 335», по оборудованию системы подводной добычи, сделаны выводы о наиболее подходящем варианте его обслуживания. Представлен обстоятельный анализ мониторинга и обслуживания подводных объектов добычи без участия водолазов и специализированных судов. Приведено описание трех видов необитаемых подводных аппаратов, применяемых в мировой практике. В предлагаемой классификации самоходные необитаемые подводные аппараты разделены на три типа: телеуправляемые, автономные, гибридные. Рассмотрен каждый тип аппаратов и их возможности по обследованию, включая съемку рельефа дна и сейсмопрофилирование, визуальный осмотр и контроль технического состояния оборудования, проведение ремонтных работ. Приведены примеры использования необитаемых подводных аппаратов на Киринском газоконденсатном месторождении при реализации проектов «Северный поток», «Турецкий поток» и др.

Отдельное внимание уделено развитию мониторинга на основе применения гибридных необитаемых подводных аппаратов, обладающих рядом преимуществ. Сформулированы основные вопросы их разработки, в том числе по оценке надежности, энергообеспечению и автономности, беспроводной связи, а также основные задачи по обслуживанию оборудования. Показаны этапы создания серийных гибридных необитаемых подводных аппаратов в России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ШЕЛЬФ, ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ, АВТОНОМНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ, ГИБРИДНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ.

Россия обладает самым крупным в мире континентальным шельфом, нефтегазовый потенциал которого составляет почти треть суммарных ресурсов недр шельфа Мирового океана. Производство углеводородного сырья на шельфе сложнее и дороже освоения месторождений на суше. Более того, 85 % общих ресурсов нефти и газа российского шельфа находится в

арктических акваториях, где сложная ледовая обстановка в сочетании с суровыми климатическими условиями делают практически невозможным применение ручного водолазного труда, что определяет актуальность и важность научно-технического прогресса в этой области. В общемировой практике эту задачу выполняют необитаемые подводные аппараты (НПА).

Впервые телеуправляемый НПА (ТНПА) заменил обитаемый аппарат при проведении инспекции трубопровода в 1981 г., а с середины 1980-х гг. НПА стали применяться в дополнение к водолазным методам выполнения работ на шельфе и заменять дорогостоящие обитаемые подводные аппараты. Назначение, области применения, методы работы НПА

Krylov P.V., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom 335 LLC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Sharokhin V.Yu., Gazprom 335 LLC

Vydra A.A., Gazprom 335 LLC

Likhovich D.A., Gazprom 335 LLC, inf@gazprom335.ru

Avilov A.S., Gazprom 335 LLC

Problems of maintenance and monitoring of equipment of systems for subsea production taking into account the features of the offshore fields of the Russian Federation

The article considers the actual topic of the domestic oil and gas industry – the development of subsea technology for the hydrocarbons production. The features of the main equipment as well as the features of the monitoring and maintenance equipment are taken into account during development of the offshore fields of the Russian Federation. Prospects for the offshore development, including the Arctic shelf, are complicated by ice conditions (the ice-free period lasts no more than a few months per year) and remoteness from the shore, which leads to the constant monitoring and maintenance without the involvement of specialized vessels and divers.

The article discusses the existing technology and solutions analyzed by Gazprom 335 LLC for equipment of the subsea production system, the conclusions about the most appropriate version of its maintenance are made. A detailed analysis of monitoring and maintenance of subsea production facilities without divers and specialized vessels is presented. The description of three types of unmanned underwater vehicles used in world practice is given. In the proposed classification, the remote-operated vehicles are divided into three types: remote-controlled, autonomous, hybrid. Each type of vehicles and their inspection capabilities are considered, including bottom relief exploration and seismic profiling, visual inspection and monitoring of the equipment's technical condition, and repair. The examples of the use of unmanned underwater vehicles at the Kirinskoe gas condensate field in the implementation of the Nord Stream, Turkish Stream and other projects are given.

Special attention is paid to the development of monitoring based on the use of hybrid underwater vehicles, which have several advantages. The main issues of their development, including the assessment of reliability, power supply and autonomy, wireless communications, as well as the main tasks of equipment maintenance are formulated. The stages of creating serial hybrid underwater vehicles in Russia are shown.

KEYWORDS: OFFSHORE, REMOTE-OPERATED UNDERWATER VEHICLE, AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE, HYBRID UNDERWATER VEHICLE.

и вопросы безопасности применительно к шельфовым работам начали серьезно обсуждаться в конце 1980-х гг. [1]. В 1997 г. был выпущен первый свод правил для необитаемых аппаратов, с 2016 г. действует его четвертая редакция [2]. Работа автономных НПА (АНПА) начала регламентироваться с 2009 г., стандарт ISO для ТНПА в нефтегазовой отрасли выпущен в 2002 г. [3]. В России классификация НПА установлена в ГОСТ Р 56960–2016 [4].

В вышеперечисленных документах НПА классифицируются по назначению, способам питания и управления, массогабаритным характеристикам и способу перемещения в воде. В таблице сформулировано условное деление самоходных НПА.

ТИПЫ НПА

Все самоходные НПА делятся на два больших типа: ТНПА (неавтономные) и АНПА. Также в последнее время ведется разработка ги-

бридных НПА (ГНПА), включающих функции обоих типов. Схематичное изображение трех типов НПА и их взаимодействие с морской и береговой инфраструктурой представлено на рис. 1.

Телеуправляемый НПА связан с носителем (судном, подводной лодкой, подводным аппаратом) посредством кабель-троса, по которому передается электропитание и (или) сигналы управления, а также происходит обмен информацией [4]. При этом ТНПА с движительной установкой за рубежом называют дистанционно управляемыми аппаратами (Remote Operated Vehicles – ROV). В свою очередь, АНПА не связан с носителем кабель-тросом, способен перемещаться, погружаться и всплывать самостоятельно по заданной программе или по команде телеметрии [4]. За рубежом для АНПА используют термин Autonomous Underwater Vehicle (AUV).

Микро- и мини-телеуправляемые НПА (микро-ТНПА, мини-ТНПА)

за счет своих малых размеров могут использоваться для обследования труднодоступных подводных объектов. Вес таких аппаратов не превышает 30 кг. Тогда как ТНПА основного класса представляют собой более мощные аппараты, которые предназначены для поисковых, инспекционных и осмотровых операций, выполнения легких механических работ и проведения измерений параметров водной среды. При этом ТНПА основного класса могут нести на себе дополнительное навесное оборудование (например, гидролокаторы, эхолоты) для выполнения более широкого спектра задач и поднимать предметы небольшого веса. Типовые характеристики аппаратов этого класса: максимальная рабочая глубина – до 3000 м, максимальное удаление от обеспечивающего судна – 100–150 м, скорость подводного хода – 2,8–3,7 км/ч, масса – от 30 до 350 кг.

Телеуправляемые НПА рабочего класса предназначены для ава-

Условная классификация самоходных НПА
Conditional classification of unmanned underwater vehicles

Самоходные НПА Unmanned underwater vehicles	
ТНПА Remote-operated vehicles	АНПА Autonomous underwater vehicles
Микро-ТНПА Micro remote-operated vehicles	Переносные микро-АНПА Man-portable micro autonomous underwater vehicles
Мини-ТНПА Mini remote-operated vehicles	Переносные мини-АНПА Man-portable mini autonomous underwater vehicles
ТНПА основного класса Main class remote-operated vehicles	АНПА легкого класса Light weight autonomous underwater vehicles
ТНПА рабочего класса Work class remote-operated vehicles	АНПА среднего класса Mid weight autonomous underwater vehicles
Донные ТНПА Bottom remote-operated vehicles	АНПА тяжелого класса Heavy autonomous underwater vehicles

рино-спасательных, поисковых, подводно-технических работ. Эти аппараты могут выполнять сложные подводные работы в условиях сильных течений и на больших глубинах. Масса рабочих аппаратов – от 100 до 2000 кг и более. Также аппараты рабочего класса отличаются сравнительно высокой стоимостью (3–5 млн долл.).

На шельфовых месторождениях с помощью ТНПА выполняют следующие виды работ:

- обеспечение безопасности выполнения водолазных работ;
- съемку рельефа дна и гидролокацию; сейсмопрофилирование; визуальный осмотр и определе-

ние пространственного положения и углов наклона объектов обустройства месторождения;

- измерение катодного потенциала и визуальную оценку истощения анодов;
- очистку поверхностей оборудования подводного добычного комплекса (ПДК) от морских обрастаний и загрязнений;
- контроль толщины стенок и отсутствия микротрещин у трубопроводов, вставок компенсаторов трубопроводов газосборной сети;
- замену отказавших сменных элементов оборудования ПДК;
- ремонтные работы, включая сварку и резку, которые могут

быть выполнены с применением различного специализированного навесного оборудования ТНПА;

- обеспечение инженерных изысканий на акватории и по трассе газопроводов;
- обеспечение подводным аппаратом останова и запуска в работу скважин с подводным заканчиванием;
- обеспечение переключений арматуры в газосборной системе;
- периодический и по запросу контроль герметичности оборудования ПДК и газосборной системы;
- контроль отсутствия повреждения скважин и защитных кон-

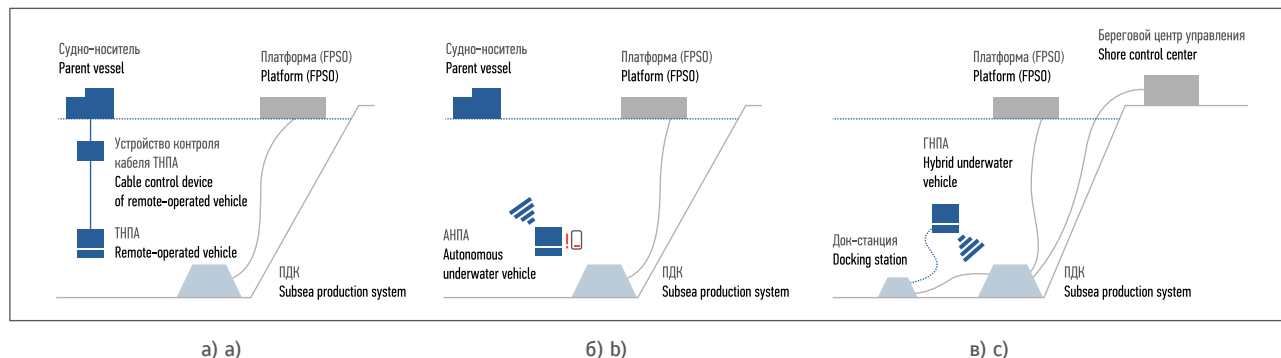


Рис. 1. Схематичное изображение систем: а) ТНПА; б) АНПА; в) ГНПА
Fig. 1. Schematic picture of systems: a) remote-operated vehicle; b) autonomous underwater vehicle; c) hybrid underwater vehicle

струкций после воздействия на них внешних неблагоприятных факторов.

Вместе с тем использование ТНПА для выполнения работ на континентальном шельфе имеет следующие сложности:

- использование ТНПА невозможно без специального судна-носителя, что влечет за собой значительное увеличение стоимости работ;

- запуск ТНПА с берега практически невозможен из-за значительной удаленности месторождений и сложных ледовых условий;

- с момента поступления заявки на срочное выполнение работ с помощью ТНПА до момента начала выполнения работ может пройти несколько недель. Это связано с выполнением всех необходимых контрактных процедур;

- выполнение работ привязано к погодным условиям и ледовой обстановке;

- для эффективной и качественной работы необходимы опытные операторы ТНПА.

В отличие от ТНПА, у АНПА отсутствует кабель телеуправления, поэтому они могут запускаться с берега, в связи с чем ледовая обстановка и неблагоприятные погодные условия не являются для АНПА ограничивающими факторами.

Все АНПА делятся на классы по массе на: легкие (до 50 кг), средние (50–500 кг), тяжелые (500–5000 кг) [4]. Также существует разделение по типу движителя и форме корпуса.

В процессе работы АНПА осуществляют сбор информации, двигаясь в автономном режиме по заранее заданному маршруту, и решают следующие задачи: инспекция подводных сооружений и коммуникаций, которая включает в себя распознавание отклонений от эталонных и (или) заданных изображений; осуществление экологического мониторинга в районе месторождения; топографическая, фото- и видеосъемка

морского дна, акустическое профилирование, картографирование рельефа; обслуживание систем освещения, прокладка кабеля и трубопроводов.

В то же время в использовании АНПА отмечается ряд ограничений: меньшая продолжительность непрерывной работы по сравнению с ТНПА; сильно ограниченная возможность выполнения сложных и тяжелых механических работ в толще воды и на морском дне; риск невозвращения аппарата, практически полностью отсутствующий в случае использования ТНПА; высокая сложность и стоимость конструкции по сравнению с ТНПА того же класса.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НПА

На российском континентальном шельфе сформирован отечественный опыт использования ТНПА и АНПА. На разных этапах обустройства Киринского газоконденсатного месторождения (ГКМ) с использованием ТНПА проведен экологический мониторинг ликвидированных и законсервированных скважин на Киринском участке проекта «Сахалин-3» [5]. Кроме того, при прокладке подводной части трубопровода в рамках реализации проекта «Северный поток» ТНПА рабочего класса типа *Comanche* использовались для инспектирования полосы прокладки трубопровода на предмет наличия неразорвавшихся боеприпасов. В 2007 г. впервые в мировой практике подо льдами в полярных широтах Арктики применен АНПА для научных исследований. Практически подтверждена возможность его использования для изучения характеристик морского дна [6]. Также АНПА применялись для изысканий по трассе «Южного потока» [5] и гидрографических исследований в Охотском море [7].

Пожалуй, одним из главных ограничений современных ТНПА выступает полное отсутствие или лишь частичное наличие автоматизированных систем, например

системы динамического позиционирования. Наличие комбинированной (гибридной) системы, позволяющей переключать автоматический, полуавтоматический и ручной режимы управления, позволило бы значительно сократить нагрузку на оператора, а в ряде случаев полностью заменить его работу. Данная система значительно повысит эффективность применения НПА, минимизирует привлечение вспомогательного судна и, как следствие, снизит стоимость капитальных затрат на выполнение подводно-технических работ.

ПРОЕКТЫ ГНПА

В последнее десятилетие активно ведутся разработки ГНПА, которые совмещают в себе функции ТНПА и АНПА. Эти НПА могут выполнять механические действия, как ТНПА, а также способны перемещаться автономно и без кабель-троса, как АНПА. Преимущество ГНПА состоит в том, что он может располагаться на морском дне в течение длительных периодов времени и незамедлительно реагировать на требования о проведении работ, связанных с управлением и обслуживанием подводного оборудования, без необходимости мобилизации специального вспомогательного судна.

Далее рассмотрим концепцию системы ГНПА, разработанной такими зарубежными компаниями, как *Cybernetix* (Франция) и *Saipem* (Италия). На рис. 2 приведена условная схема развития ГНПА и взаимосвязи подводных аппаратов, основные элементы которой следующие: ГНПА; донная док-станция; станция контроля и управления; система связи и энергообеспечения; набор сменных инструментов и диагностических приборов.

Донная док-станция (рис. 3) представляет собой гараж, обеспечивающий хранение аппарата с защитой от падающих объектов и противотраловой защитой.

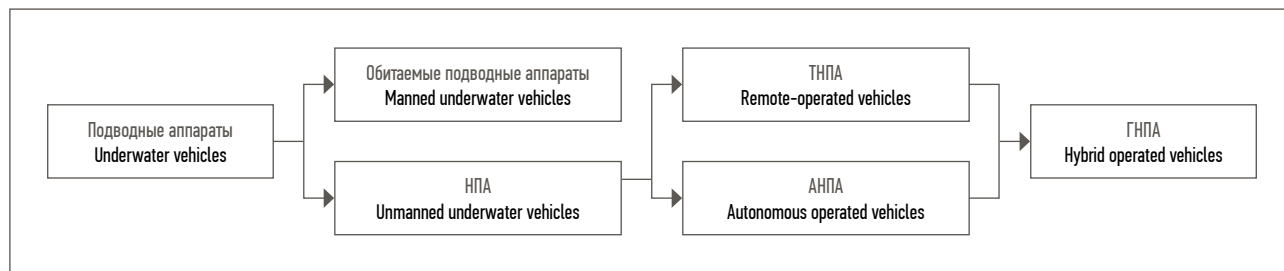


Рис. 2. Схема развития ГНПА

Fig. 2. Scheme of development of hybrid remote-operated vehicles and autonomous underwater vehicles



а) а)

б) б)

Рис. 3. Концепция системы ГНПА компаний: а) Cybernetix [9]; б) Saipem [8]

Fig. 3. Concept of: а) Cybernetix hybrid [9]; б) Saipem hybrid [8]

Также док-станция обеспечивает передачу связи и электроэнергии от берега или добывающей платформы к НПА. Количество док-станций зависит от размеров месторождения и номенклатуры оборудования ПДК. При этом энергообеспечение осуществляется за счет подключения к основной системе питания ПДК либо посредством отдельного шлангокабеля, проложенного от береговой энергетической установки.

В зависимости от концепции месторождения станция контроля и управления может располагаться на вспомогательном судне, на берегу или на плавучей установке для добычи, хранения и отгрузки сырья (FPSO). На станции располагается пульт управления оператора с необходимыми приборами и программным обеспечением. Средства управления позволяют загружать определенные программы (миссии) для функционирования НПА в автономном режиме, а также переключать управление на ручной режим вне зависимости от месторасположения НПА. Вместе с тем стоит отметить, что на данный момент отсутствует единая стратегия

выбора режимов управления на различных этапах эксплуатации системы, представляя открытое поле для дискуссий.

Как правило, ГНПА оснащен бортовыми аккумуляторными батареями с возможностью подзарядки от донной док-станции, которая, в свою очередь, обеспечивает управление и передачу энергии от наземных или надводных энергетических установок. Также для выполнения энергозатратных монтажных и ремонтных операций, где требуется работа со сменными инструментами, существует возможность управления и передачи электроэнергии посредством кабель-троса.

С помощью вышеперечисленных систем ГНПА может размещаться на морском дне в течение длительных периодов времени и немедленно реагировать на требования к инспекции и обслуживанию с минимальными затратами, не требуя наличия судов обеспечения. Таким образом повышается эффективность в области безопасности и защиты окружающей среды.

Ключевые возможности ГНПА включают:

- постоянный доступ к элементам оборудования ПДК без применения судна обеспечения, которое не может достичь зоны проведения работ из-за сложной ледовой обстановки или погодных условий;

- снижение рисков для оператора ПДК за счет быстрого реагирования и осведомленности о состоянии оборудования;

- снижение эксплуатационных затрат за счет отсутствия потребности в классических ТНПА;

- соблюдение международных законов и требований в области экологии;

- уменьшение эксплуатационных рисков из-за сокращения задействованного персонала;

- увеличение гибкости при проектировании ПДК.

Также необходимо отметить основные технологические проблемы, с которыми могут столкнуться разработчики данных систем.

Надежность. Система ГНПА служит для обеспечения целостности и надежности обслуживаемого оборудования ПДК, поэтому она должна обладать повышенной надежностью. Например, в сложных ледовых условиях продолжительность эксплуатации системы без прохождения ее планового обслуживания может составлять 9 мес.

Энергообеспечение. Современные технологии в области аккумуляторных батарей позволяют обеспечить запас энергии для проведения менее энергоемких работ, таких как осмотр и диагностика оборудования. Вместе с тем сегодня требуются энер-

гетические системы, позволяющие также выполнять легкие, а в перспективе – тяжелые подводно-технические работы.

Автономность. Поскольку ГНПА может функционировать в автономном, полуавтоматическом и дистанционном режимах, присутствие человека-оператора на всех режимах важно для обеспечения безопасности операций. Для функционирования данных режимов, а также для расширения автономных задач необходимо разработать специальное программное обеспечение и алгоритмы работы с отработкой в условиях, приближенных к условиям эксплуатации.

Подводная беспроводная связь. Сегодня существуют несколько технологий подводной беспроводной связи, например гидроакустическая, электромагнитная и оптическая. Каждая из технологий имеет свои плюсы и минусы с точки зрения дальности, скорости передачи данных и качества.

Подводная зарядка. Предполагается, что индуктивный метод зарядки бортовой аккумуляторной батареи станет приоритетным направлением, но данная технология требует дальнейшей технической проработки. Гальваническое мокрое соединение может служить альтернативой, но оба технических решения должны быть детально исследованы, квалифицированы и отработаны при натуральных испытаниях.

Рассматривая вопросы обслуживания оборудования СПД, можно выделить несколько основных задач: снижение стоимости обслуживания в течение всего периода работы месторождения – до 30 лет; необходимость оперировать элементами управления запорно-регулирующей арматуры с определенным моментом; замена съемных элементов вследствие истечения срока службы, планово-предупредительного ремонта или повреждения; необходимость передачи видеосигнала в реаль-

ном времени на пульт управления; риск использования проводных НПА в ледовый период.

ВЫВОДЫ

В рамках прошедшей в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете в 2017 г. Международной конференции по морской робототехнике в освоении океана были обозначены эти и ряд других задач [10]. В настоящее время Кириновское ГКМ – единственное месторождение, освоенное с использованием оборудования системы подводной добычи (СПД), для обслуживания которого применяются ТНПА. Для решения данных задач можно выделить два направления непрерывный мониторинг оборудования и трубопроводов, в том числе для накопления статистических данных по наработке; обслуживание оборудования СПД в части очистки, оперирования интерфейсами НПА, замены съемных модулей.

20–21 МАРТА 2019 г.



г. НОВЫЙ УРЕНГОЙ

Ямало-Ненецкий автономный округ

Межрегиональная специализированная выставка

ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ

Выставка пройдет в рамках
Новоуренгойского газового форума

Организатор выставки:
Администрация г. Новый Уренгой
Оператор выставки:

СИБЭКС SERVICE

ООО «Выставочная компания Сибэкспосервис»,
г. Новосибирск
Тел.: +7 (383) 335 63 50 – многоканальный,
E-mail: vkses@yandex.ru, www.ses.net.ru



Вопрос мониторинга предлагается возложить на АНПА, которые могут в течение длительного времени отслеживать обстановку и передавать информацию в режиме записи с последующим анализом. Вместе с тем в вопросах обслуживания отмечается ряд ограничений по нагрузкам, грузоподъемности, безопасности маневрирования вблизи элементов оборудования и запорно-регулирующей арматуры.

Для решения этих задач целесообразно использовать ГНПА, которые, с одной стороны, снимают вопрос автономности и использования подо льдом, а с другой, предполагают наличие необходимой мощности для выполнения всего спектра задач. В то же время наличие оператора на последнем участке работ (вблизи оборудования) предполагает адаптацию стандартов

и норм, которые в настоящее время используются при работе с ТНПА, а не разработку набора новых нормативных документов по безопасности, рискам, эксплуатации НПА на шельфовых месторождениях.

В настоящий момент для обеспечения освоения шельфовых месторождений Российской Федерации, в том числе в Арктическом регионе, отсутствует ответственный изготовитель серийных ГНПА. Для создания данных аппаратов необходимо пройти следующие этапы:

- проанализировать существующие технологии и разработки, которые возможно применить в опытно-конструкторских работах по данному направлению;
- привлечь для освоения недостающих технологий проектно-монтажное или конструкторское бюро с целью разработки

рабочей конструкторской документации на опытный образец ГНПА;

– изготовить опытный образец для проведения полноценных натурных испытаний на полигоне с привлечением потенциальных заказчиков системы;

– по результатам обработки технологий всего комплекса оборудования провести сравнение ГНПА с существующими системами с точки зрения решения задач по обслуживанию СПД в течение всего срока эксплуатации.

Успешная реализация вышеперечисленных работ позволит обеспечить независимость российских нефтегазовых компаний от зарубежных технологий, но также потребует объединения имеющихся технологий на единой инженеринговой площадке, обладающей опытом проектирования подводных систем. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Mann J., Wharton W. Adapting ROV Operations Procedures to Today's Market // Proceedings of an International Conference "Submersible Technology: Adapting to Change". Aberdeen, 1987. P. 51–54.
2. Guidance for the Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.imca-int.com/publications/114/guidance-for-the-safe-and-efficient-operation-of-remotely-operated-vehicles/> (дата обращения: 23.11.2018).
3. ISO 13628-8:2002. Petroleum and Natural Gas Industries. Design and Operation of Subsea Production Systems. Part 8. Remotely Operated Vehicle (ROV) Interfaces on Subsea Production Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/37291.html> (дата обращения: 23.11.2018).
4. ГОСТ Р 56960–2016. Аппараты необитаемые подводные. Классификация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136057> (дата обращения: 23.11.2018).
5. Ляхов Д.Г., Смирнов С.В., Чудаков М.И. О применении необитаемых подводных аппаратов в морской нефтегазодобывающей отрасли // Подводные исследования и робототехника. 2013. № 1. С. 23–32.
6. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 2. С. 5–14.
7. Михайлов Д.Н., Сенин Р.Н., Дубровин Ф.С. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для гидрографических исследований в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2. С. 4–13.
8. WATCH: Saipem Hydrono ROV/AUV [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://subseaworldnews.com/2017/05/16/watch-saipem-hydrono-rovauv/> (дата обращения: 23.11.2018).
9. AUV System Spec Sheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://auvac.org/configurations/view/16> (дата обращения: 23.11.2018).
10. «Газпром» испытывает дефицит морских роботов для работы на шельфе Арктики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.offshore-mag.ru/novosti/gazprom-ispitivaet-defitsit-morskih-robotov-dlya-raboti-na-shelyfe-arktiki> (дата обращения: 23.11.2018).

REFERENCES

1. Mann J., Wharton W. Adapting ROV Operations Procedures to Today's Market. Proceedings of an International Conference "Submersible Technology: Adapting to Change". Aberdeen, 1987, P. 51–54.
2. Guidance for the Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles [Electronic source]. Access mode: <https://www.imca-int.com/publications/114/guidance-for-the-safe-and-efficient-operation-of-remotely-operated-vehicles/> (access date: November 23, 2018).
3. ISO 13628-8:2002. Petroleum and Natural Gas Industries. Design and Operation of Subsea Production Systems. Part 8. Remotely Operated Vehicle (ROV) Interfaces on Subsea Production Systems [Electronic source]. Access mode: <https://www.iso.org/standard/37291.html> (access date: November 23, 2018).
4. State Standard GOST R 56960–2016. Unmanned Underwater Vehicles. Classification [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200136057> (access date: November 23, 2018). (In Russian)
5. Lyakhov D.G., Smirnov S.V., Chudakov M.I. On the Use of Unmanned Underwater Vehicles in the Offshore Oil and Gas Industry. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Studies and Robotics, 2013, No. 1, P. 23–32. (In Russian)
6. Inzartsev A.V., Kamorny A.V., Lvov O.Yu., et al. Use of the Autonomous Unmanned Underwater Vehicle for Scientific Research in the Arctic. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Studies and Robotics, 2007, No. 2, P. 5–14. (In Russian)
7. Mikhaylov D.N., Senin R.N., Dubrovin F.S., et al. Use of the Autonomous Unmanned Underwater Vehicle for Hydrographic Studies in the Sea of Okhotsk. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Studies and Robotics, 2017, No. 2, P. 4–13. (In Russian)
8. WATCH: Saipem Hydrono ROV/AUV [Electronic source]. Access mode: <https://subseaworldnews.com/2017/05/16/watch-saipem-hydrono-rovauv/> (access date: November 23, 2018).
9. AUV System Spec Sheet [Electronic source]. Access mode: <http://auvac.org/configurations/view/16> (access date: November 23, 2018).
10. Gazprom Has a Shortage of Subsea Robots to Work on the Arctic Shelf [Electronic source]. Access mode: <http://www.offshore-mag.ru/novosti/gazprom-ispitivaet-defitsit-morskih-robotov-dlya-raboti-na-shelyfe-arktiki> (access date: November 23, 2018). (In Russian)