

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПОДВОДНОМ ОБУСТРОЙСТВЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИЙСКОГО АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

УДК 622.279.04

А.Н. Чернов, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»
(Санкт-Петербург, РФ)

Ю.И. Козлов, к.т.н., ООО «Газпром проектирование»

Ю.А. Неменко, ООО «Газпром СПГ Санкт-Петербург»
(Санкт-Петербург, РФ), Y.Nemenko@spblng.gazprom.ru

А.И. Новиков, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

М.С. Кирик, ПАО «Газпром», m.kirik@adm.gazprom.ru

Освоение месторождений природного газа на российском Арктическом шельфе связано с решением ряда сложных технических проблем. Наличие льдов и айсбергов на акватории месторождения приводит к необходимости использования полностью подводного обустройства месторождений за счет применения подводных добычных комплексов. Длительность периода недоступности оборудования из-за наличия льда на акватории может составлять 6–9 месяцев в год, при этом проведение технического обслуживания и ремонта оборудования подводного добычного комплекса с использованием традиционных технологий невозможно. Резервирование данного оборудования выступает одним из возможных путей решения проблемы. Выполнены исследования, связанные с обоснованием необходимого уровня резервирования оборудования подводного добычного комплекса. Для различных функциональных систем подводного добычного комплекса определен уровень резервирования (как правило, двух- и трехкратное резервирование), при котором достигаются показатели надежности, близкие к показателям для континентальных месторождений природного газа. Исследовано влияние резервирования на показатели надежности подводного добычного комплекса и на экономические показатели его функционирования. Оптимальные значения показателей надежности подводного добычного комплекса существенно ниже, чем общепринятые показатели надежности (коэффициент сохранения производительности – на уровне 0,97).

Сделан вывод о том, что попытки достижения высоких показателей надежности за счет резервирования приводят к существенному ухудшению экономических показателей проектов. Стратегическим направлением повышения надежности работы подводного добычного комплекса является не резервирование, а обеспечение круглогодичного технического обслуживания и ремонта оборудования.

Рассмотрены результаты расчетных исследований надежности подводного добычного комплекса для месторождений Арктического и Дальневосточного шельфов, а также различные альтернативные технологии выполнения круглогодичного технического обслуживания и ремонта оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБУСТРОЙСТВО ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ, ПОЛНОСТЬЮ ПОДВОДНОЕ ОБУСТРОЙСТВО, ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДЛЕДНОГО РЕМОНТА.

Специалисты ПАО «Газпром» и ООО «Газпром проектирование» на протяжении последних 15 лет работают в области практического проектирования объектов российского Арктического шельфа. Опыт работы показал, что одной из главных проблем при проекти-

ровании и дальнейшем обслуживании месторождений в условиях Арктического шельфа Российской Федерации (РФ) является длительный период замерзания акваторий в районах шельфовых месторождений. При этом управление надежностью при проекти-

ровании [1] также является одной из главных проблем.

Характерным примером выступает обеспечение надежной работы подводных систем в условиях Карского моря, которое может быть покрыто льдом до 10 мес/год. Ремонт или замену

Chernov A.N., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Kozlov Yu.I., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom proektirovanie LLC

Nemenko Yu.A., Gazprom LNG Saint Petersburg (Saint Petersburg, Russian Federation),

Y.Nemenko@spblng.gazprom.ru

Novikov A.I., Gazprom PJSC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Kirik M.S., Gazprom PJSC, m.kirik@adm.gazprom.ru

Reliability assurance at the subsea development of the oil and gas fields of the Russian Arctic shelf

The development of natural gas deposits on the Russian Arctic shelf is associated with the solution of a number of complex technical problems. The presence of ice and icebergs in the water area of the field leads to the need to use fully subsea field development based on the use of subsea production systems. The length of the period of inaccessibility of equipment due to the presence of ice in the water area can be 6–9 months per year, when maintenance and repair of subsea production equipment using traditional technologies is impossible. Reservation of this equipment is one of the possible ways of solving the problem. Research related to the substantiation of the required level of reservation of the equipment of the subsea production system was carried out.

The level of reservation (usually two and three-time reservation) is defined for various functional systems of the subsea production system. At this level, the reliability indicators close to ones for continental natural gas fields are achieved.

The effect of reservation on the reliability of the subsea production system and on the economic performance of its operation is investigated. The optimal values of the reliability indices of the subsea production system are significantly lower than the generally accepted reliability indicators (the coefficient of productivity conservation at the level of 0.97).

It is concluded that attempts to achieve high reliability indicators due to reservation leads to a significant degradation in the economic performance of projects. The strategic direction of improving the reliability of the subsea production system is not the reservation, but year-round support of the equipment maintenance and repair.

The results of computational studies of the reliability of the subsea production system for the fields of the Arctic and Far Eastern shelves, as well as various alternative technologies for performing year-round maintenance and repair of equipment are considered.

KEYWORDS: SHELF DEPOSITS DEVELOPMENT, RELIABILITY ASSURANCE, FULLY SUBSEA DEVELOPMENT, SUBICE REPAIR SUPPORT.



оборудования можно производить только в течение 2 мес/год. Это ограничивает возможность подхода ремонтных судов в район расположения оборудования и, следовательно, возможность круглогодичного обслуживания, ремонта и замены подводного оборудования.

Специалистами ООО «Газпром проектирование» разработана и обоснована концепция полностью подводного обустройства арктических шельфовых месторождений РФ. Концепция преду-

сматривает создание полностью подводных систем обустройства, включающих подводные добычные комплексы (ПДК), подводные установки подготовки газа к транспорту (УПГТ) и подводные компрессорные станции (КС) [2]. На базе этой концепции по заказу ПАО «Газпром» были разработаны «Технические требования на подводную УПГТ и подводную КС производительностью 10 млрд м³/год».

При разработке были изучены вопросы энергообеспече-

ния, определены потребности морских нефтегазовых месторождений в электроэнергии на различных стадиях эксплуатации, произведена систематизация выпускаемых и перспективных автономных источников электропитания, разработана методика определения приоритетности источников электроэнергии, определены критерии приоритетности использования источников электроэнергии. Предложены решения по выбору автономных источников электроснабжения

для различных вариантов реализации ПДК.

Наиболее актуальной задачей освоения газовых месторождений Арктического шельфа РФ является обеспечение надежной работы подводного оборудования. Для решения этой актуальной задачи в ООО «Газпром проектирование» выполнены исследования надежности проектируемых объектов [3].

Выполненная работа дала возможность:

- обосновать уровень резервирования элементов и систем, позволяющий достигнуть заданных требований к надежности технологического оборудования;

- определить потребность в запасных частях для обеспечения надежного функционирования технологического объекта в течение установленного срока службы;

- определить трудоемкость планового и внепланового технического обслуживания и ремонта технологических объектов;

- выполнить разработку проектных решений по объектам ремонтной производственной инфраструктуры (ремонтная база, склады, подъездные пути к технологическим объектам и др.).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗЕРВИРОВАНИЮ

Частота отказов оборудования подводных добычных систем может достигать двух случаев в год. Это становится серьезной проблемой для эксплуатации подводного оборудования на замерзающем шельфе РФ. При этом необходимо отметить, что важна не только частота отказов, но и время восстановления производительности, т. е. ремонта или замены неисправного оборудования со всеми сопутствующими операциями. Одна из основных составляющих восстановления производительности – мобилизация ремонтного и обслуживающего флота. Мобилизация флота является определяющим фактором для формирования

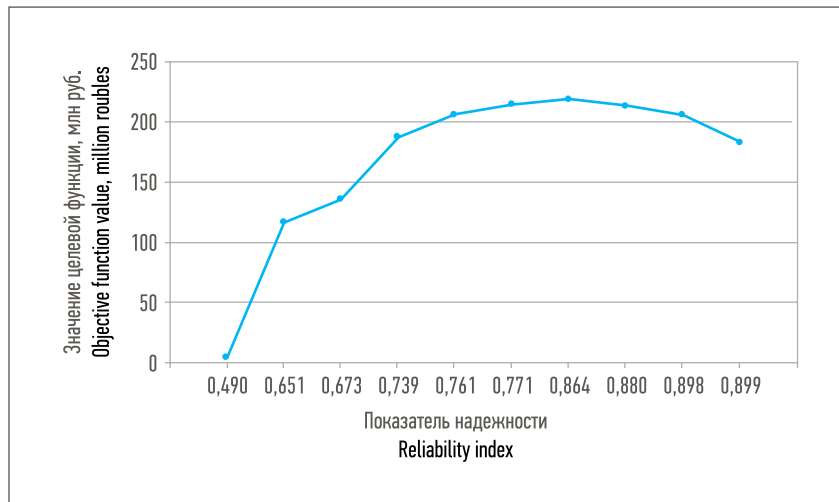


Рис. 1. Зависимость целевой функции от показателя надежности системы на месторождении 1

Fig. 1. Dependence of the objective function on the reliability index of the system in the field 1

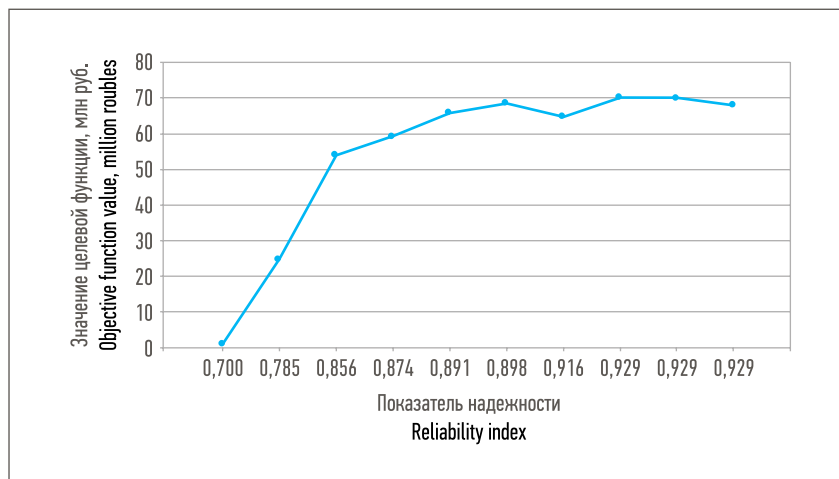


Рис. 2. Зависимость целевой функции от показателя надежности системы на месторождении 2

Fig. 2. Dependence of the objective function on the reliability index of the system in the field 2

как финансовой, так и временной составляющих ремонта.

На базе методики управления надежностью были разработаны рекомендации по резервированию подводного оборудования для месторождений с проектной производительностью 10 млрд м³/год.

Получены следующие наиболее важные результаты:

- в условиях Карского моря обустройство без резерва практически неработоспособно, и недопоставка может составить до 8,5 млрд м³/год;

- резервирование по схеме «4 + 2» позволяет существенно увеличить надежность и повысить значение коэффициента надежности, снизить вероятную недопоставку;

- дальнейшее повышение надежности достигается резервированием систем обеспечения по высоковольтным кабелям системы энергообеспечения, трубопровода обеспечения ингибитора гидратообразования, кабеля системы управления и конденсаторов по схеме «1 + 1».

Резервирование оборудования по схемам «4 + 2» означает необ-

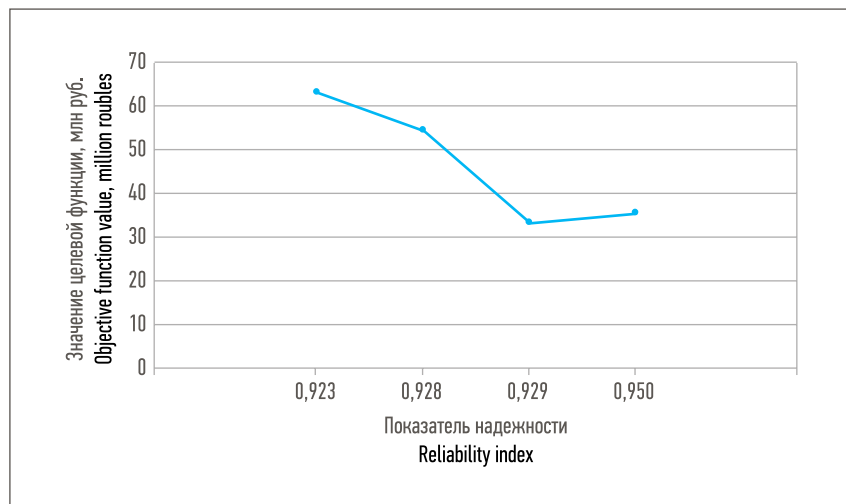


Рис. 3. Зависимость целевой функции от показателя надежности системы на месторождении 3 (этап 1, без компримирования газа)
Fig. 3. Dependence of the objective function on the reliability index of the system in the field 3 (stage 1, without gas compression)

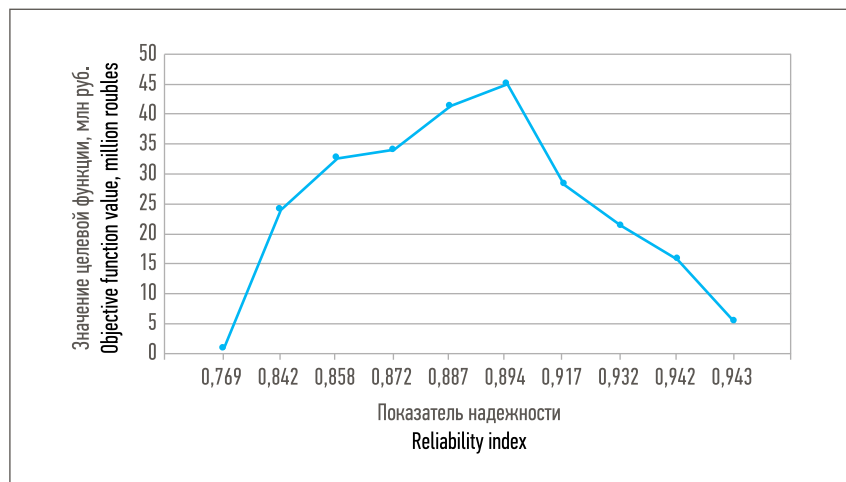


Рис. 4. Зависимость целевой функции от показателя надежности системы на месторождении 3 (этап 2, с компримированием газа)
Fig. 4. Dependence of the objective function on the reliability index of the system in the field 3 (stage 2, with gas compression)

ходимость 50%-ного запаса оборудования и 100%-ного резервирования кабелей, трубопроводов ингибитора гидратообразования и конденсата.

Полученные результаты показывают важность резервирования для сокращения простоев и снижения недопоставки. В то же время высокая степень резервирования оборудования приводит как к увеличению капитальных вложений, так и к повышению эксплуатационных расходов на его транспортировку, хранение и обслуживание. Определение степени

резервирования при разработке технических решений обустройства месторождений Арктического шельфа РФ требует глубокого экономического анализа.

РАСЧЕТЫ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Для определения оптимального уровня резервирования оборудования ПДК выполняются расчеты в соответствии с правилами, приведенными в ГОСТ 27.003-90 [4]. Для этого целевая функция $\Delta E(R)$ рассчитывается как разность функций $E(R)$ и $C(R)$ по формуле

$$\Delta E(R) = E(R) - C(R),$$

где R – показатель надежности системы; $E(R)$ – показатель эффективности системы (чистый дисконтированный доход); $C(R)$ – показатель стоимости (капитальные вложения).

При оптимальном уровне надежности ПДК целевая функция $\Delta E(R)$ должна иметь максимум.

На рис. 1–4 показаны расчетные значения коэффициентов надежности для перспективных месторождений ПАО «Газпром» в диапазоне 0,49–0,95. Оптимальные уровни надежности для соответствующих месторождений соответствуют значениям: 0,84; 0,928; 0,923; 0,894.

В ходе работ были рассмотрены несколько схем освоения шельфовых месторождений РФ, для каждого из месторождений были рассмотрены различные варианты резервирования. Эти результаты получены для месторождений, где лед стабилен в течение 6 мес/год. При этом для всех месторождений резервированием оборудования не удастся достичь общепринятых значений показателя надежности на уровне 0,97.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценивая результаты расчетов, можно сказать, что только резервирование оборудования не дает возможности увеличить надежность подводной системы до требуемых показателей. Резервирования оборудования недостаточно, и для повышения надежности требуются технические средства для технического обслуживания и ремонта в ледовых условиях. Не имея технической возможности для ремонта подводного оборудования в ледовых условиях, невозможно добиться приемлемых показателей надежности.

В целях повышения надежности и эффективности необходимо разрабатывать средства для производства подледного ремонта.

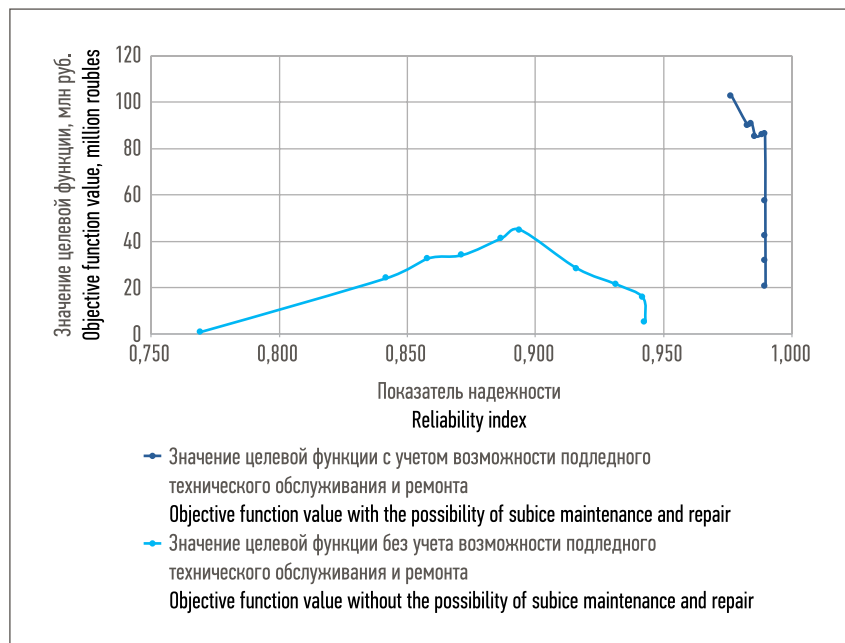


Рис. 5. Зависимость целевой функции от показателя надежности системы на месторождении 3, сравнение вариантов с сезонным и круглогодичным доступом для ремонта и обслуживания
Fig. 5. Dependence of the objective function on the reliability index of the system in the field 3, comparison of variants with seasonal and year-round access for repair and maintenance



На примере Карского моря можно сказать, что при существующих подходах к ремонту или замене подводного оборудования и имеющихся технических средствах обеспечения ремонта обслуживания месторождений традиционным способом – с поверхности открытой воды – может быть осуществлено в период отсутствия льда, который в холодные годы может составлять всего лишь 2–4 мес/год. Такой период доступности месторождений не может

обеспечить должного уровня надежности. Если авария или другой внезапный отказ оборудования произойдут в самом начале ледового периода, доступ к месту отказа оборудования будет открыт, вероятно, только в конце ледового периода.

В наиболее простом случае это будет просто отказ оборудования со снижением проектного уровня добычи до момента завершения ремонтных работ. В худшем случае может произойти бес-

контрольный выброс продукта скважины, и подобные случаи происходят. В случаях глобальной аварии, рассматривая время реагирования на прекращение аварии, подразумевают часы, в крайнем случае дни, но никак не месяцы. Безусловно, по результатам анализа развития предыдущих глобальных катастроф создаются новые нормы и правила, вносятся изменения и улучшения в предохранительное оборудование, но от случайности никто не застрахован.

Если авария на шельфовом месторождении будет развиваться в течение нескольких месяцев, экологические последствия для уникальной хрупкой экосистемы северных морей и Мирового океана в целом станут очень значительными, не говоря уже о штрафах, экономических и репутационных потерях владельца и оператора проекта.

По разработанной ранее методике и с учетом результатов обсуждений проблем обустройства Арктического шельфа РФ на международной конференции RAO CIS Offshore 2017 специалистами ООО «Газпром проектирование» совместно со специалистами Департамента 307 ПАО «Газпром» были сделаны предварительные расчеты надежности оборудования шельфовых газовых месторождений. В указанных расчетах была промоделирована ситуация, предполагающая, что подводное оборудование может быть заменено или отремонтировано в любой момент времени, в том числе в период ледовых условий в районе месторождения. Результаты расчетов показали, что значения коэффициента надежности подводного оборудования резко возрастают. Сравнительные кривые зависимости целевой функции проекта от степени резервирования без возможности круглогодичного ремонта и с учетом возможности осуществления круглогодичного ремонта для месторождения 3 представлены на рис. 5.

Таблица 1. Сводные данные по надежности подводного оборудования ПДК
Table 1. Summary data on reliability of subsea equipment of subsea production system

Оборудование Equipment	Число оборудования, ед. Number of equipment, units	Число отказов, ед. Number of failures, units		Интенсивность отказов ($\times 10^{-6}$), ч ⁻¹ Failure rate ($\times 10^{-6}$), h ⁻¹	Прогнозируемое количество отказов единичного оборудования Predicted number of failures of individual equipment		Время активного ремонта, ч Active repair time, h	Полное время ремонта, по данным компании-производителя Total repair time according to the manufacturing company	
		критические critical	некритические non-critical		раз в год once a year	раз в 25 лет every 25 years		минимальное, сут minimum, days	максимальное, сут maximum, days
Подводное оборудование АСУ ТП ПДК Subsea equipment of automated process control system of subsea production system	505	68	1481	128,67	1	25	13,6	8,5	360
Внутрипромысловые трубопроводы ПДК Intra-field pipelines of subsea production system	653	23	56	3,41	0	0	112,0	81	81
Оборудование подводного манифольда ПДК Equipment of subsea manifold of subsea production system	217	10	174	26,79	0	5	16,9	127	210
Оборудование опорной плиты ПДК (темплейты) Equipment of base plate of subsea production system (templates)	23	0	3	25,60	0	5	6,0	16	210
Оборудование устья скважины и фонтанной арматуры Wellhead equipment and Christmas tree assembly	482	46	470	23,10	0	6	21,5	16	81

Анализируя графики, можно сделать заключение, что, помимо резервирования оборудования, важнейшим способом повышения надежности подводной технологической системы является обеспечение возможности круглогодичного доступа к подводному оборудованию. При круглогодичном доступе к оборудованию значение показателя надежности существенно выше расчетных величин, полученных для варианта сезонного доступа. Повышение степени резервирования оборудо-

вания в условиях круглогодичного доступа снижает значение целевой функции (которая изначально существенно выше, чем для условий сезонного доступа) и приводит к незначительному повышению надежности. Вместе с тем при определенном значении степени резервирования происходит «провал», при котором значение целевой функции резко падает при сохранении одного и того же уровня надежности.

Для оценки возможности применения различных средств под-

водного ремонта оборудования был выполнен анализ метеорологических условий и ледовой обстановки в районах шельфовых месторождений. Анализ показал, что в зависимости от региона толщина льда может составлять в среднем от 50 до 100 см (Охотское, Печорское, Японское, Баренцево моря). Для Карского моря средние величины толщины льда составляют 110–140 см. В условиях холодных зим толщина льда может достигать 160–180 см.

Таблица 2. Оценочные массогабаритные характеристики оборудования ПДК
Table 2. Estimated physical data on equipment of the subsea production system

Наиболее тяжеловесное и габаритное оборудование ПДК The most heavy and large equipment of the subsea production system	Максимальная масса оборудования, т Maximum weight of equipment, t	Максимальные габаритные размеры оборудования, м Maximum overall dimensions of equipment, m
Оборудование подводного манифольда ПДК Equipment of subsea manifold of subsea production system	~350	40 × 40
Оборудование опорной плиты ПДК (темплейты) Equipment of base plate of subsea production system (templates)	~300	40 × 40
Оборудование устья скважины и фонтанной арматуры Wellhead equipment and Christmas tree assembly	~60	5 × 5

Проведена оценка скоростей дрейфа льда:

- Охотское море: 0,021 м/с в штиль, 0,13–0,15 м/с в среднем, до 0,54 м/с в условиях циклонов;
- Японское море: до 0,5–0,6 м/с в условиях зимних муссонов;
- Карское море: 0,02–0,03 м/с в среднем.

Помимо оценки скорости дрейфа льда проведена оценка вероятности возникновения отказа оборудования и продолжительности выполнения ремонта. Оценка выполнена на основании статистических данных и данных компании – производителя оборудования подводных добычных систем. Сводные данные по надежности подводного оборудования ПДК представлены в табл. 1 (здесь: указано число оборудования, в отношении которого велось наблюдение и имеются статистические данные; критический отказ – отказ, который может привести к тяжелым последствиям: травмированию людей, значительному материальному ущербу или неприемлемым экологическим последствиям [5]; некритический отказ – отказ, не подпадающий под определение критического; время активного ремонта – часть времени ремонта, в течение которого на объекте выполняют операции активного ремонта [6]; полное время ремонта – время, необходимое для выполнения ремонта, включая время задержек из-за необеспеченности ресурсами для ремонта [6]).

В табл. 2 представлены оценочные массогабаритные характеристики оборудования, исходя из которых следует проектировать транспортно-технологическое оборудование, предназначенное для выполнения подводно-подледного обслуживания, транспортировки и ремонта. Приведенные в табл. 2 массогабаритные характеристики оборудования являются индивидуальными для каждого проекта: представлены ориентировочные значения, принятые в соответствии с проработанными ранее проектами освоения месторождений Охотского и Баренцева морей.

Анализ представленных обобщенных данных о надежности подводного оборудования ПДК позволяет сделать заключение, что наибольший вклад в снижение надежности ПДК вносят отказы оборудования автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) и оборудования устья скважины и фонтанной арматуры.

Наиболее часто будут происходить отказы оборудования АСУ ТП. При эксплуатации единичной АСУ ТП отказы будут происходить в среднем не реже чем раз в год. Соответственно, за 25 лет произойдет в среднем 25 отказов.

Отказы оборудования устья скважины и фонтанной арматуры будут происходить реже, и доля критических отказов, связанных с необходимостью снижения производительности ПДК либо остановки добычи газа, будет несколько ниже. При эксплуатации

единичной скважины ожидается не менее шести отказов за 25 лет эксплуатации.

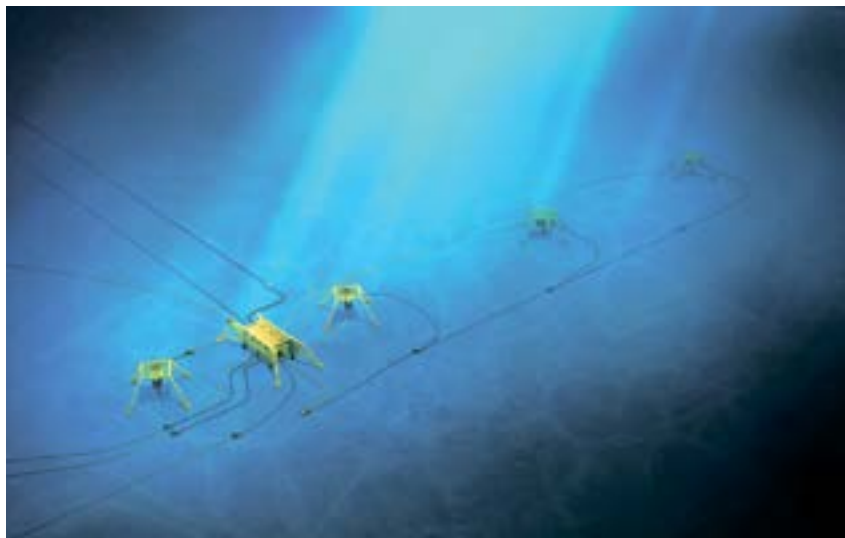
Наибольшее активное время ремонта требуется для устранения отказов внутрипромысловых трубопроводов. Полное время ремонта, включающее подготовительные работы, заказ запасных частей и расходных материалов, мобилизацию судна и непосредственные работы по устранению отказа, будет намного больше, чем время активного ремонта.

Наибольшее полное время ремонта по устранению отказа прогнозируется для оборудования АСУ ТП ПДК, и оно будет связано с устранением отказа шлангокабеля.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Можно рассматривать два основных варианта обеспечения выполнения ремонтных работ в ледовых условиях: с поверхности воды при ледокольном обеспечении работ; полностью подледное выполнение работ.

Обеспечение ремонтных работ с поверхности воды является традиционным способом, но с учетом толщины льда и скорости дрейфа льда это становится нетривиальной задачей. При ее решении необходимо обеспечить свободное от льда пространство в районе проведения работ и динамическое позиционирование судов, с которых будут выполняться работы. Для обеспечения возможности выполнения работ указанным спо-



собом в районе месторождений целесообразно иметь «дежурные» ледоколы, которые смогут обеспечить выполнение ремонтных работ в наиболее короткие сроки. Помимо этого, необходимо иметь возможность выполнения грузовых работ с самих ледоколов или с грузовых судов, приспособленных к работе в арктических условиях, с ледокольной поддержкой.

Полностью подледное выполнение работ, в свою очередь, является инновационной технологией, для которой необходимо разрабатывать совершенно новые транспортные средства, в настоящее время не существу-

ющие в мировом флоте подводных судов. Такие суда должны обладать внушительной автономностью, грузоподъемностью, системой динамического позиционирования, системой кранов, установленных на судне, достаточно вместительной площадкой для размещения оборудования, модулем управления грузовыми операциями. Помимо этого, в порту загрузки оборудования на подводные суда должна быть создана инфраструктура, позволяющая выполнять швартовку самого судна, погрузку на него оборудования, а также обеспечивающая погружение под воду

судна с размещенным на нем грузом без воздействия льда на установленное на грузовых палубах оборудование.

В каждом из рассмотренных вариантов обеспечения ремонта существуют свои плюсы и минусы. Перед принятием решения о создании инновационной подледной грузовой платформы следует тщательно оценить возможные альтернативные варианты применительно к каждому месторождению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание средств и способов обеспечения подледного ремонта является в настоящее время одной из самых актуальных задач освоения газовых месторождений российского Арктического шельфа. Работы в данном направлении уже ведутся крупными проектными организациями различного профиля: предлагаются различные концептуальные системы подледного доступа к месторождениям – как с помощью роботизированной техники для контроля, обследования, управления задвижками, мелкого ремонта, так и с помощью грузовых подводных платформ для транспортировки подводных технологических модулей. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов А.Н., Кирик М.С., Пароменко А.М., Козлов Ю.И. Инновационные решения и управление надежностью при освоении газовых месторождений шельфа РФ // Газовая промышленность. 2015. № 51 (720). С. 84–87.
2. Чернов А.Н., Пароменко А.М. Управление надежностью при проектировании // Газовая промышленность. 2008. № 5. С. 32–34.
3. Чернов А.Н., Козлов Ю.И., Авдиенко И.Н. и др. Оптимизация требований к надежности подводных добычных комплексов, работающих в условиях российского Арктического шельфа // Вести газовой науки: науч.-техн. сб. 2017. № 1. С. 32–40.
4. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-003-90> (дата обращения: 02.08.2018).
5. ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (дата обращения: 02.08.2018).
6. ОСТ 45.152–99. Техническое обслуживание и ремонт средств электросвязи. Термины и определения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200043944> (дата обращения: 02.08.2018).

REFERENCES

1. Chernov A.N., Kirik M.S., Paromenko A.M., Kozlov Yu.I. Innovative Solutions and Reliability Management in the Development of Gas Fields of the Russian Shelf. *Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry*, 2015, No. 51 (720), P. 84–87. (In Russian)
2. Chernov A.N., Paromenko A.M. Management of Reliability in Design. *Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry*, 2008, No. 5, P. 32–34. (In Russian)
3. Chernov A.N., Kozlov Yu.I., Avdienko I.N., et al. Optimization of Reliability Requirements to Subsea Production Systems Working in Offshore Conditions of Russian Arctic. *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik "Vesti gazovoy nauki" = Scientific and Technical Collection "News of Gas Science"*, 2017, No. 1, P. 32–40. (In Russian)
4. State Standard GOST 27.003–90. Industrial Product Dependability. Dependability Requirements: Contents and General Rules for Specifying [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-003-90> (access date: August 2, 2018). (In Russian)
5. State Standard GOST R 27.002–2009. Dependability in Technics. Terms and Definitions [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (access date: August 2, 2018). (In Russian)
6. Industry Standard OST 45.152–99. Maintenance and Repair of Telecommunication Facilities. Terms and Definitions [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200043944> (access date: August 2, 2018). (In Russian)