

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ

Грамузов Е.М.<sup>1</sup>, Кравченко В.А.<sup>2</sup>, Лавковский С.А.<sup>2</sup>, Калинина Н.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), Н.Новгород, Россия(603950,ГСП-41, г. Н.Новгород, ул. Минина, 24), e-mail:terkor@ntu.nnov.ru.,

<sup>2</sup>ООО «Комплексные инновационные технологии», Москва, Россия (119330, г. Москва, ул. Дружбы, 2/19)

Рассмотрены конкурентоспособные показатели обустройства и эксплуатации глубоководных арктических месторождений. Идея базируется на размещении инженерных объектов в слое воды между дном моря и нижней кромкой ледового покрова, исключив тем самым воздействие на сооружения волновых и ледовых нагрузок и уменьшив материалоемкость и капиталоемкость конструкций по сравнению с ледостойкими стационарными платформами. Центральным элементом базовой схемы разработки месторождения является подводная буровая платформа. Поиск оптимального варианта решения технических проблем и проблем безопасности привела к размещению на промысле шлюза между атмосферой и гидросферой. В каждом секторе функционируют традиционные участники: в подводном – подводные суда, аппараты, роботы; в надводном – вертолеты, ледоколы, спутниковые системы и др. В качестве шлюза предложено ледокольное судно поддержки (ЛСП). Энергообеспечение и управление промыслом осуществляются с берегового центра. Смена экипажей подводных буровых платформ осуществляется с постоянно дежурящего в районе месторождения ЛСП с вертолетной площадкой и транспортно-спасательными подводными аппаратами. Подводно-подледная буровая платформа формируется на морском дне из двух основных компонентов: подводного бурового судна (ПБС) и донной опорной плиты (ДОП).

Ключевые слова: обустройство глубоководных арктических месторождений, ледовый покров, подводная буровая платформа, ледокольное судно поддержки, подводное буровое судно, донная опорная плита.

## FORMATION OF RATIONAL VARIANTS OF DESIGN AND TECHNOLOGY CONCEPTS FOR SUBSEA/SUBICE TECHNOLOGICAL COMPLEX

Gramuzov E.M.<sup>1</sup>, Kravchenko V.A.<sup>2</sup>, Lavkovsky S.A.<sup>2</sup>, Kalinina N.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University, named after R.E. Alekseyev (NNSTU), N.Novgorod, Russia (603950, N.Novgorod, Minin street, 24), e-mail:terkor@ntu.nnov.ru

<sup>2</sup>LLC «Integrated innovative technologies», Moscow, Russia (119330, Moscow, Druzhbastreet, 2/19)

In paper competitive factors of construction and development of deepwater Arctic fields were considered. The idea is based on the placement of engineering facilities in the layer of water between the sea floor and the lower edge of the ice sheet, thereby excluding impact on the construction of wave and ice loads. Thereby reducing consumption of materials and capital intensity of constructions in comparison with ice-resistant stationary platform. The central element of the base scheme of field development is underwater drilling platform. The search of the optimal solution of technical problems and safety problems has led to the placing on the field a gateway between the atmosphere and the hydrosphere. Every sector has traditional participants: underwatersector – underwater vehicles; above-watersector-helicopters, icebreakers, satellite systems, and others. As a gateway icebreaking support vessel (ISV) suggested. Power supply and management provides from coastal center. Crew change of underwater drilling platforms provides with icebreaking support vessels fitted flight deck, which permanent has the duty close to the field, and rescue submersibles. On the sea floor the subsea/subice drilling platform formed of two main components: subsea drillship and grid mat.

Keywords: development of deepwater Arctic fields, ice sheet, underwater drilling platform, icebreaking support vessel, subsea drillship, grid mat.

Надежда получить конкурентоспособные показатели обустройства и эксплуатации глубоководных арктических месторождений базируется на идее размещения инженерных объектов в слое воды между дном моря и нижней кромкой ледового покрова, исключив тем самым воздействие на сооружения волновых и ледовых нагрузок и, как следствие, резко при этом уменьшив материалоемкость и капиталоемкость конструкций по сравнению с

ледостойкими стационарными платформами [1]. Естественна при этом ориентация на технологические и производственные возможности существующих российских заводов по строительству подводных лодок и судов без ломки сложившихся производственных связей и без серьёзных капиталовложений в их реконструкцию и модернизацию.

Именно эти основополагающие принципы взяты в качестве базовых при разработке типов и архитектурного облика подводных объектов и инфраструктуры их поддержки и внешнего обеспечения [2].

Центральным элементом базовой схемы разработки месторождения, естественно, является подводная буровая платформа. Оставив детальное описание и анализ конструкции подводной буровой платформы, предлагается сосредоточить внимание на общем технологическом фоне, облике и ролях остальных «действующих лиц».

Как и в любой классической технологии буровых работ и строительства скважин, подводная буровая платформа нуждается во внешней поддержке: энергообеспечении, поставке расходных материалов для приготовления бурового раствора различной рецептуры, обсадных и буровых труб, инструмента, ЗИПа, смене людей, работа которых организуется по вахтовому методу, сборе шлама и многом другом. Должны бесперебойно функционировать линии связи Центра управления промыслом со всеми участниками подводного «действия» и с администрацией компании. Должна быть развернута система быстрого реагирования на нештатные и аварийные ситуации.

Логика поиска оптимального варианта решения многочисленных технических проблем и проблем безопасности привела к необходимости размещения на промысле объекта, который являлся бы шлюзом между атмосферой и гидросферой. В каждом секторе функционировали бы традиционные участники: в подводном – подводные суда, аппараты, роботы; в надводном – вертолеты, ледоколы [6], спутниковые системы и др.

Шлюзом является судно ледокольного обеспечения. Энергообеспечение и управление промыслом осуществляются с берегового центра. Смена экипажей подводных буровых платформ осуществляется с постоянно дежурящего в районе месторождения ледокольного судна поддержки (ЛСП) с вертолетной площадкой для приема вертолетов с базы в поселке Харасавэй и с транспортно-спасательными подводными аппаратами (ТСПА), спускоподъемные операции с которыми осуществляются из ангара через специальную шахту-шлюз в диаметральной плоскости ледокольного судна поддержки.

Связь подводных буровых платформ с Центром управления промыслом осуществляется как по донному подводному кабелю, так и по гидроакустическому каналу через ЛСП.

ТСПА, базирующиеся на ЛСП, не нуждаются в большой автономности и дальности плавания, а поэтому архитектурно-проектный облик таких аппаратов вполне может быть традиционным для обитаемых спасательных подводных аппаратов, созданных ЦКБ «Лазурит» и заводом «Красное Сормово», эксплуатирующихся Военно-морским флотом.

Наличие в районе промысла постоянно дежурящего ледокольного судна поддержки является одним из основных элементов построения общей системы безопасности – как средство быстрого реагирования на нештатные ситуации.

Для последующих исследований и технико-экономического анализа остановимся на базовой схеме с постоянным ледокольным обеспечением, как обладающей наименьшим составом проблемных вопросов, особенно на ранних стадиях освоения подводного газодобывающего региона. При этом подводная инфраструктура рассматривается в составе общей схемы организации всесезонных транспортных связей региона [4, 5].

Подводно-подледная буровая платформа формируется на морском дне из двух основных компонентов: подводного бурового судна (ПБС) и донной опорной плиты (ДОП).

На ДОП установлены 8 устьевых соединителей для бурения и строительства куста из 8 наклонно-направленных скважин. ПБС, используя специальный механизм, осуществляет перемещение по ДОП и фиксированное закрепление на каждой позиции, совместив ось буровой установки с осью очередного устьевого соединителя. Комплект превенторов ПБС, водоотделяющая колонна, противовыбросовое оборудование образуют систему запоров и шлюзов, обеспечивающую предотвращение попадания забортной воды в буровой отсек ПБС, смену бурового инструмента, работу в внутрискважинном пространстве по монтажу обсадных труб, цементированию затрубного пространства и др. технологических операций, в том числе в осложненных условиях (обрыв инструмента, разрушение долота и др.).

Буровой раствор в циркуляционной системе ПБС проходит традиционный для бурения роторным способом технологический цикл с отделением выбуренного шлама и складированием его в отсеках ДОП.

Гидроприводная буровая установка с манипуляторным устройством подачи буровых и обсадных труб на ось скважины размещена в отдельном прочном корпусе ПБС и в штатных условиях бурения управляется дистанционно с центрального пульта бурильщика в центральном посту управления ПБС, расположенном в отдельном соседнем прочном корпусе.

Закончив бурение, строительство и испытания скважин в течение расчетного периода (околоодного года), ПБС перемещается на другую ДОП в надводном (в безледовый период) или в подводном (в любое время года) положении с помощью надводных буксирных судов или подводного судна обеспечения.

Погрузочно-разгрузочные операции с доставляемыми контейнерами с расходными материалами и трубами осуществляются средствами ПБС: - подводными рабочими, - телеуправляемыми роботами.

Продукция скважин, минуя ПБС, в многофазном потоке подается через внутрипромысловые манифольды по трубопроводам на береговую сепарационно-компрессорную станцию и далее в сеть магистральных трубопроводов полуострова Ямал или на заводы по сжижению газа или переработки в синтетические жидкие углеводороды для вывоза танкерами по Северному Морскому Пути.

ДОП с фонтанной арматурой остается на точке на все время ведения добычи газа как темплет. Ремонт скважин и фонтанной арматуры осуществляется с помощью подводного ремонтного судна (ПРС). ПРС по архитектуре и принципам использования аналогичен ПБС. Перемещение ПРС между ДОП осуществляется с помощью того же подводного судна обеспечения.

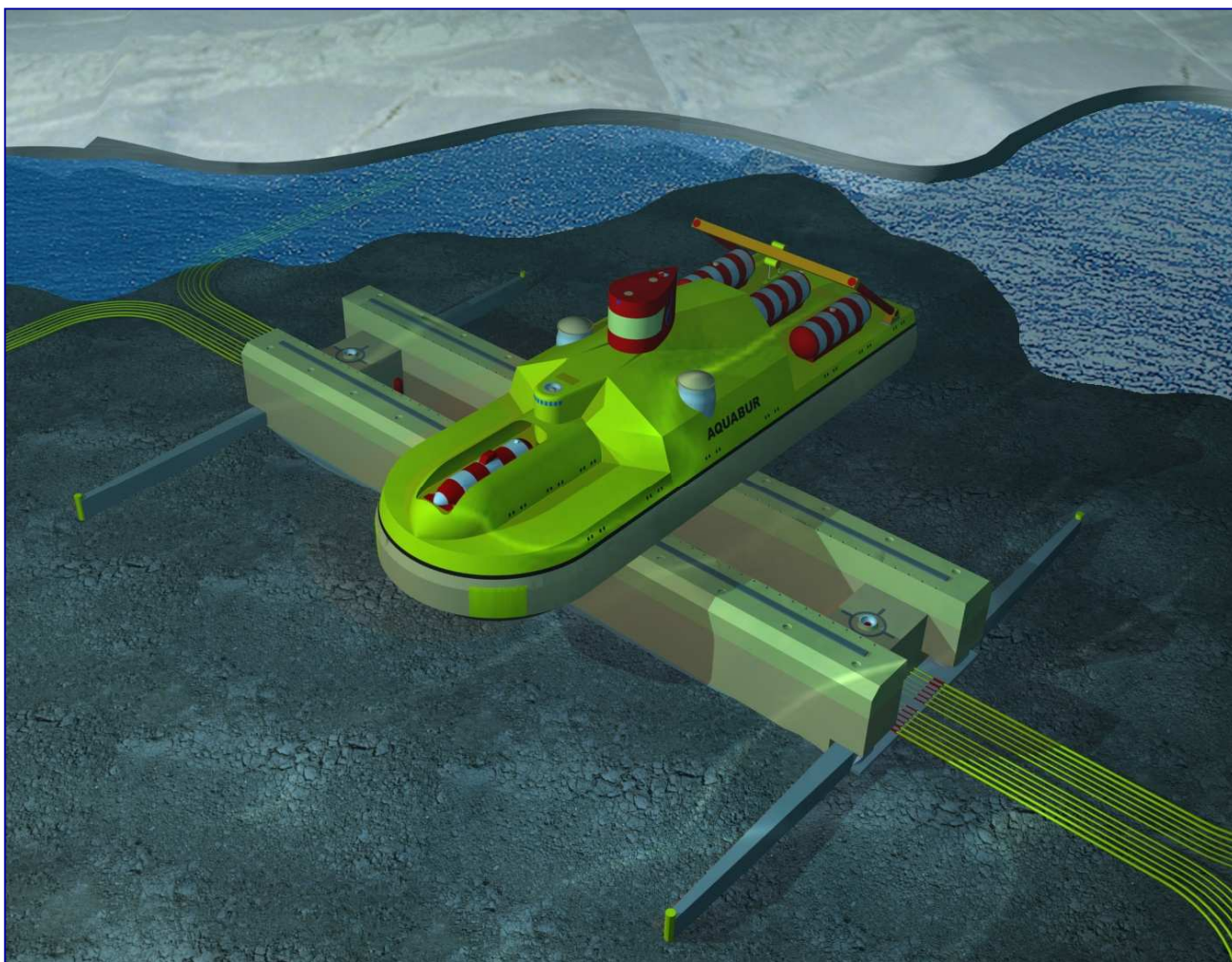
Обслуживание и ремонтные работы на ДОП, донной инфраструктуре трубопроводов, манифольдов, кабелей осуществляется с блока подводно-технических работ – сменного модуля подводного судна обеспечения [4, 5].

Приоритетным основополагающим принципом при определении архитектурных, компоновочных и проектно-конструкторских решений, безусловно, является подход, обеспечивающий наибольшую безопасность. Собственно, от того, насколько успешно будут найдены и доказаны такие решения, зависит судьба подводно-подледных технологий.

Определяющее влияние на облик всего сооружения оказывает, конечно, буровая установка.

Приняв такой постулат в качестве исходного, проектировщик-конструктор подводного бурового судна способен определить в первом приближении «жизненное пространство» для технологических помещений судна.

Таким образом, поставив во главу угла вопросы общепроектного характера по обеспечению безопасности, мы получаем возможность реализации агрегатно-модульного метода строительства судна в высшей фазе своего проявления со всеми вытекающими из этого благоприятными технологическими и экономическими показателями.



*Рис.1. Подводно-подледный буровой комплекс*

Логично разделить все жизненное пространство подводного бурового судна на 5 основных функциональных блоков, каждый в отдельном прочном корпусе: буровой установки; циркуляционной системы; цементировочной системы; командно-жилой и энергетический.

Все блоки соединены между собой переходными тамбур-шлюзами.

Аварийно-спасательное обеспечение оказывает заметное влияние на архитектуру судна. Это, прежде всего, размещение спасательных подводных аппаратов (СПА), базирующихся на борту ПБС в постоянной готовности к эвакуации находящихся на нем людей. Целесообразно иметь не менее двух СПА и закрепить их на комингс-площадках аварийно-спасательных люков на переходных тамбур-шлюзах, связывающих командно-жилой блок с соседними технологическими.

Размещенные в командно-жилом блоке центральный пост комплексной системы управления техническими средствами (КСУ ТС) ПБС и пост управления буровыми работами (УБР) имеют 100 % дублирование, разнесенное по разным функциональным блокам: пост

КСУ ТС – в энергетическом, а пост УБР – в блоке буровой установки. Это обеспечивает гарантированное сохранение управления жизненно важными функциями ПБС в любой, даже самой сложной, аварийной ситуации.

ПБС должно иметь возможность всплытия без повреждений в любое время с проламыванием льда толщиной до 2,5 метров из приледненного положения. Для этого у него должна быть достаточно прочная рубка, способная выдерживать усилия от льда как при проламывании, так и в положении дрейфа во льдах, когда действующая ватерлиния ограничена обводами выведенной в пролом рубки, а надстройка прижата положительной плавучестью судна к нижней поверхности льда. Высота рубки над палубой надстройки должна обеспечивать высоту над ледовым покровом, достаточную для нормального запуска и работы дизель-генераторов, функционирования антенных устройств связи и радиолокации, выхода людей на лед при необходимости.

Такое положение дрейфующего во льдах судна в ожидании внешней помощи можно считать наиболее безопасным.

Для грузовых подводных операций с контейнерами в кормовой части ПБС должна быть достаточно просторная палуба с ложементами для покладки контейнеров и перегрузочными люками с комингс-площадками.

Поскольку грузовые операции обеспечиваются подводными телеуправляемыми роботами (по-английски «ROV»), то в непосредственной близости к грузовой палубе должны находиться прочные герметичные ангары для базирования и обслуживания ROV и их рабочих пакетов.

Специализирующиеся на грузовых операциях два ROV имеют 100 % дублирование двумя другими универсальными рабочими ROV, расположенными в носовой части ПБС.

ПБС должно осуществлять точную безударную посадку на ДОП с использованием тросов и подтягивающих лебедок. Управление посадкой ПБС на ДОП представляет одну из наиболее серьезных проблем проектирования.

Основное назначение ДОП – служить опорой для ПБС при выполнении буровых работ и темплетом для фонтанной арматуры. На ДОП устанавливаются 8 устьевых соединителей, на каждом из которых подвешена колонна обсадных труб при строительстве скважин. По технологии ведения буровых работ ПБС многократного перемещается по ДОП, используя свой механизм перемещения и опорно-направляющие дорожки ДОП.

В период эксплуатации ремонт скважин будет осуществлять подводное ремонтное судно (ПРС), которое аналогично ПБС будет осуществлять посадку и закрепление на ДОП, заменять внутрискважинное оборудование, насосно-компрессорные трубы, осуществлять промывку, перфорацию стенок скважины и др.

ДОП будет эксплуатироваться в течение всего периода добычи газа на месторождении, то есть в течение расчётного периода – 30 лет.

По технологии монтажа ДОП должна иметь балластные цистерны, позволяющие буксировать ее в надводном положении и при заполнении водным балластом плавно опускать на морское дно. Второе назначение балластных цистерн – емкости для приёма выбуренного шлама. Таким образом, технически и экономически эффективно решается проблема экологической безопасности в части защиты окружающей среды от сбросов выбуренного шлама [3].

Проектно-конструкторское решение ДОП принято в виде платформы катамаранного типа, в плане в форме прямоугольника, продольными сторонами которого являются корпуса балластных цистерн, а соединяющее их донное перекрытие является несущей частью корпуса с фундаментными конструкциями для крепления устьевых соединителей.

По верху балластных цистерн расположены опорно-направляющие дорожки для перемещения ПБС с фиксирующими стопорами.

В прочных корпусах размещается периодически обслуживаемое оборудование для обеспечения гидравлической энергией приводов управления фонтанной арматурой.

На прочных корпусах имеются люки с комингс-площадками для посадки транспортно-спасательных подводных аппаратов, доставляющих ремонтные бригады.

Управление фонтанной арматурой осуществляется из Центра управления газодобывающим промыслом по внутрипромысловым кабельным сетям.

Описанный подводно-подледный технологический комплекс добычи углеводородного сырья открывает безопасный доступ к скрытым под толщей льда богатейшим природным кладовым глубоководного арктического шельфа.

### **Список литературы**

1. Вяхирев Р.М., Никитин Б.А., Мирзоев Д.А. Обустройство и освоение морских нефтегазовых месторождений. – М.: Издательство академии горных наук, 1999. – 373 с.
2. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: МОРИНТЕХ, 2001. – 432 с.
3. Гусейнов Т.И., Алекперов Р.Э. Охрана природы при освоении морских нефтегазодобывающих месторождений. – М.: Недра, 1989. – 230 с.
4. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа. – Л.: Судостроение, 1986. – 288 с.

5. Ибрагимов А.М. Нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения для освоения шельфа. – М.: Недра, 1992. – 263 с.
6. Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А. Проектирование ледоколов. – СПб.: Судостроение, 2013. – 512 с.

**Рецензенты:**

Химич В.Л., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Энергетические установки и тепловые двигатели», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород;

Миронов А.А., д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Аэро-гидродинамика, прочность машин и сопротивление материалов», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Гоц А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВПО Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир