

Арктические перспективы

Российские проектанты предлагают разработки для северного шельфа

О. Тимофеев, А. Зимин, С. Вербицкий, А. Агафонов, П. Лопашев, Э. Фомичев, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Какие морские технические средства могут быть перспективны для российских арктических условий? Специалисты Крыловского государственного научного центра предлагают проекты ледостойкой плавучей добычной платформы, блок-кондуктора для мелководных месторождений и платформы судового типа для восстановления проектного дебита скважин.

Глубоководные проекты Крыловский государственный научный центр (КГНЦ) совместно с другими предприятиями судостроительной отрасли в рамках федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 гг. занимается разработкой перспективных для российских условий концептуальных проектов морских технических средств различных типов и назначений. В данной статье охарактеризован ряд последних разработок предприятия, которые могут быть применены при работе на арктическом шельфе.

Первая из них – ледостойкая плавучая добычная платформа (ЛПДП) с круговой (в плане) фор-

мой корпуса и отсоединяемым спайдерным бумом. Она предназначена для эксплуатации в условиях глубоководного шельфа. Платформа будет осуществлять прием продукции скважин от подводного добычного комплекса, подготовку нефти на борту, хранение в корпусе и дальнейшую отгрузку нефти на танкеры (рис. 1).

ЛПДП, характеристики которой приведены в таблице 1, обладает следующими основными качествами:

- достаточная площадь палубы для размещения технологического оборудования;
- значительные объемы внутри корпуса для организации хранения подготовленной к экспорту нефти;
- возможность функционирования в диапазоне глубин 150-400 м;

- минимальная эксплуатационная температура воздуха -45°C ;
- форма корпуса, позволяющая минимизировать ледовое воздействие и качку;
- возможность оперативного отсоединения платформы от спайдерного бую (с закрепленными на нем якорно-швартовой системой удержания и райзерами) в случае опасности возникновения ледовых нагрузок сверх расчетных;
- самостоятельное маневрирование и динамическое позиционирование, обеспечиваемое движительным комплексом.

В районе ватерлинии платформа имеет коническую часть с двойным сломом, которая воспринимает ледовую и волновую нагрузки. Принятая форма обводов

Таблица 1. Основные характеристики ЛПДП

Наибольший диаметр	$D_{\max} = 120 \text{ м}$
Высота корпуса	$H = 56,5 \text{ м}$
Максимальная осадка	$T = 36,5 \text{ м}$
Масса порожнем	ок. 130 тыс. т
Максимальное водоизмещение	ок. 260 тыс. т
Планируемый объем добычи по нефти	ок. 15 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$
Объем грузовых цистерн	ок. 115 тыс. м^3
Численность персонала: в период нормальной эксплуатации в период пуско-наладочных работ	95 чел. до 180 чел.
Автономность: по запасам топлива, воды, провизии по запасам технологического комплекса	30 сут. 30 сут.

способствует тому, что основным видом разрушения льда при контакте с поверхностью буя становится ломка вследствие изгиба ледяного покрова вниз. Двойной слом позволяет снизить значение составляющей ледовой нагрузки, связанной с разворотом и проталкиванием блоков льда при переходе с конусной поверхности на цилиндрическую.

Умерение угловой качки оказалось возможным за счет демпфирующего эффекта, который возникает при входе палубы конической части в воду. Для более эффективного демпфирования расстояние от палубы до поверхности воды принято 2,5 м, что подтверждено результатами экспериментов. Балластная секция, расположенная в нижней части платформы и имеющая больший диаметр по отношению к остальной цилиндрической части корпуса, также будет оказывать благоприятное действие на уменьшение качки (прежде всего, вертикальной).

Для обеспечения принятых проектных решений выполнен комплекс расчетно-экспериментальных исследований, касающихся формы и конструкции корпуса, анализа поведения сооружения в ледовых и ветро-волновых условиях, якорной системы удержания. В частности, были проведены испытания в ледовом опытном бассейне КГНЦ при следующих условиях:

- в ровных и битых льдах толщиной 1,5 м и 3 м;
- в гряде торосов с глубиной киля 10 м и 18 м;
- при различных скоростях дрейфа от 0,5 м/с до 1,5 м/с.

В результате испытаний было установлено, что наиболее высокий уровень глобальной ледовой нагрузки воздействует на

Крыловский государственный научный центр

ФГУП «Крыловский государственный научный центр» активно занимается вопросами проектирования технических средств для освоения шельфа замерзающих и арктических морей России. Специалисты предприятия участвовали в разработке практически всех крупных шельфовых проектов в России: «Сахалин-1», «Сахалин-2», Приразломное, Штокмановское, Варандей, освоение месторождений Обской и Тазовской губ. Заказчиками выступают как отечественные («Газпром», ЛУКОЙЛ, «Роснефть»), так и международные (ExxonMobil, Sakhalin Energy, Shtokman Development) компании-операторы и их дочерние предприятия.

Специалисты КГНЦ занимаются проектированием различных технических средств для обеспечения освоения месторождений нефти и газа, включая морские операции. Научный центр проводит комплексные экспериментальные исследования в бассейнах и на стендах для оптимизации проектных решений, а также разрабатывает и обосновывает транспортно-технологические системы.

платформу при взаимодействии с торосистыми образованиями. Эти условия являются наиболее опасными. Визуальные наблюдения процесса испытаний показали, что при всех режимах лед не доходит до швартовых линий и райзеров. В целом, выполненные проработки подтверждают принципиальную реализуемость предложенных в концептуальном проекте технических решений.

Решения для мелководных акваторий

Мелководные месторождения, значительные не только по запасам, но и по площади залегания продуктивных пластов, рационально обустроить при помощи одной основной технологической платформы и нескольких стационарных необитаемых мини-платформ – спутников (блок-кондукторов) с защищенным от ледовых воздействий («сухим») устьевым оборудованием. Они должны быть связаны с центральной платформой подводными трубопроводами и шлангокабелями энергоснабжения.

Применение блок-кондукторов также позволяет производить морскую добычу углеводородов и отгружать продукцию скважин напрямую на береговой обрабатывающий комплекс. Эта технология оправдала себя и успешно используется на некоторых месторождениях в безледовых регионах, поскольку создание добывающего комплекса на основе блок-кондукторов требует значительно меньших капитальных вложений по сравнению со схемой обустройства месторождения с помощью технологических платформ.

К предполагаемым районам применения ледостойкого блок-кондуктора (ЛБК) можно отнести Обскую и Тазовскую губы и юго-восточную часть Баренцева моря.

Блок-кондуктор представляет собой морскую ледостойкую стационарную платформу с фундаментом свайного типа для установки на мелководных газовых месторождениях (глубина моря – 5-15 м) с минимальным

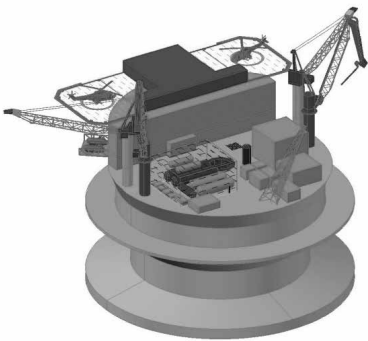
Таблица 2. Основные характеристики ЛБК

Высота корпуса	28 м
Максимальная ширина опорного основания	40 м
Ширина колонны	12 м
Количество скважинных колодцев	9 шт.
Ширина палубы	27 м
Количество свай	16 шт.
Глубина забивки свай	32 м

Таблица 3. Основные характеристики ПВСА

Длина	139 м
Ширина	24 м
Осадка	8 м
Мощность энергетической установки	ок. 25 МВт
Скорость	16 узлов
Класс системы динамического позиционирования	DYNPOS-2
Длина обслуживаемых скважин	до 8 тыс. м
Жилой модуль для размещения	60 чел.
Автономность по запасам	45 сут.

Рисунок 1. Общий вид ЛПДП



Источник: ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

добычи и отгрузки пластового продукта (рис. 2, табл. 2). ЛБК состоит из двух основных частей: опорного основания и верхнего строения.

Бурить скважины через ЛБК можно круглогодично с мобильной ледостойкой буровой платформы или с самоподъемной буровой установки при сезонном бурении. Процесс осуществляется при отсутствии верхнего строения. Через корпус ЛБК проходит девять колодцев

для бурения скважин, трубопровод для внешнего транспорта газа, линия ингибитора гидратообразования, силовые кабели и кабель управления.

Обработка пластовой продукции на ЛБК не производится, продукция скважин по подводному трубопроводу транспортируется на технологическую платформу или на береговую установку комплексной подготовки газа. На верхнем строении ЛБК размещается оборудование устьев скважин, манифольд, контрольно-измерительная аппаратура и трубная обвязка.

Работа ЛБК осуществляется в дистанционно-управляемом режиме без постоянного присутствия персонала. Для этого на верхнем строении установлен пост управления, позволяющий контролировать выполнение технологических операций и состояние систем. Отметим, что на ЛБК предусмотрено временное размещение ремонтных и инспекционных бригад, численностью до 20 человек. Платформа обеспечивается электроэнергией

с береговой электростанции или бортовой электросети основной технологической платформы.

Корпус ЛБК состоит из плоской шестнадцатигранной опорной плиты, переходной части в форме усеченной восьмигранной пирамиды, призматической вертикальной колонны, консольной части сверху, внутренней палубы корпуса и верхней палубы, формирующей опорную площадь под верхним строением.

Для уменьшения нагрузок от внешних природных воздействий на блок-кондуктор и, как следствие, на свайные крепления, корпус блок-кондуктора выполнен с наибольшей возможной минимизацией габаритных размеров поперечного сечения в районе действия ледовых и волновых нагрузок.

Опорное основание разделено на отсеки системой поперечных и продольных водонепроницаемых переборок, обеспечивающих прочность и герметичность корпуса.

Крепление опорного основания на морском дне осуществляется 16 сваями через ростверки (направляющие для свай), расположенные в опорной плите. Сваи размещаются равномерно по ее периметру, обеспечивая устойчивость ЛБК при воздействии всех видов эксплуатационных нагрузок с любых направлений.

Опорное основание и верхнее строение выполняются как отдельные объекты. Верхнее строение ЛБК – пространственная металлоконструкция, все палубы которой, кроме верхней открытой палубы, защищены сплошной бортовой обшивкой, изолирующей помещения от воздействия окружающей среды и низких температур. Вертолетная пло-

шадка размещается на опорной конструкции (на верхней открытой палубе). Установка верхнего строения на ЛБК производится после окончания бурения.

Для подтверждения эффективности разработанных технических решений был проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, в том числе в мореходном и ледовом бассейнах КГНЦ с целью определения нагрузок внешней среды на ЛБК. Расчеты несущей способности свай и устойчивости ЛБК на грунте были выполнены специалистами ЦКБ МТ «Рубин» и ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Выбор технологического оборудования осуществлен при участии ДОО ЦКБН ОАО «Газпром».

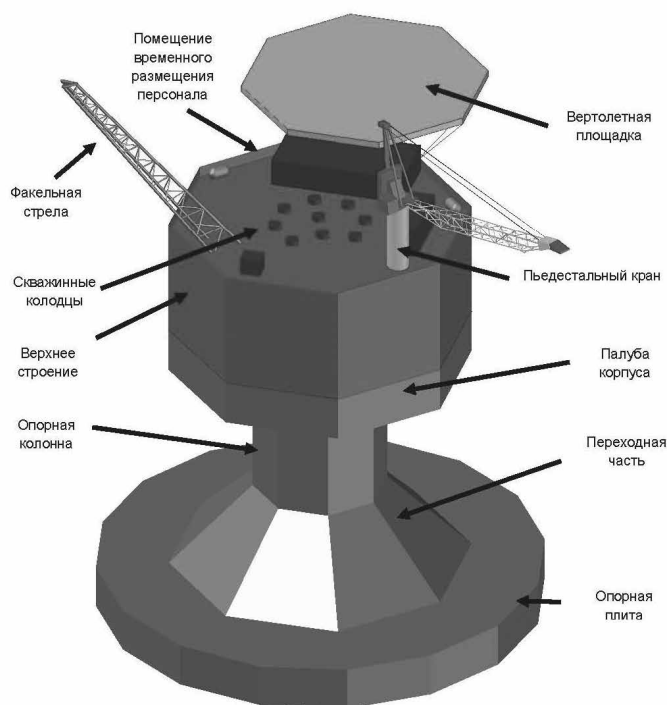
По итогам выполненных исследований и обоснований можно констатировать, что разработанные проектные решения позволяют использовать ЛБК, в том числе, в предельно мелководных районах со слабыми грунтовыми условиями и экстремальными ледовыми воздействиями.

Сервис для морских скважин

С активизацией в России разработок морских месторождений возникает потребность в судах, способных оперативно осуществлять работы по стимулированию отдачи пласта и ремонту подводных скважин в различных условиях и, в частности, ледовых.

Учитывая данное обстоятельство, специалисты КГНЦ совместно с ЦКБ «Коралл» разработали концептуальный проект плавучей платформы судового типа для восстановления проектного дебита скважин в условиях перспективных месторождений шельфа замерзающих морей (ПВСА).

Рисунок 2. Общий вид ЛБК



Источник: ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Основная цель разработки – сведение к минимуму времени простоя морских скважин и обеспечение экономически эффективного способа обслуживания. В первую очередь, это касается подводных производственных систем. Затраты при таком обслуживании могут быть в два-три раза ниже, чем при аренде буровой установки или бурового судна.

Самоходная плавучая платформа (рис. 3, табл. 3) спроектирована как Special purpose ship. Оборудование и материалы, предусматриваемые в проекте, учитывают параметры работы в условиях низких температур (Winterization -40°C) и соответствуют действующим стандартам в части надежности и обеспечения бесперебойной работы технологического комплекса в течение всего срока службы (30 лет).

Главные размерения определены с учетом требований к размещению технологического и другого оборудования, запасов, грузов и обеспечения остойчивости. Форма корпуса выбрана исходя из условий обеспечения требуемой ходкости на тихой воде и работы в ледовых условиях.

При определении компоновочных решений использован зональный принцип. Технологический комплекс расположен в кормовой части. Надстройка, включая жилые, служебные и общественные помещения, расположена в носовой части. Вертолетная площадка также находится в носу судна.

Технологический комплекс, разработанный специалистами ЦКБ «Коралл» под руководством М.В. Ковалева, представляет собой устройства, системы и оборудо-

Рисунок 3. Общий вид ПВСА



Источник: ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

вание, предназначенные для выполнения следующих основных технологических операций:

- хранение и сборку на устье комплекта подводно-устьевого оборудования;
- проведение полного комплекса геофизических исследований;
- проведение гидроразрыва пласта и других операций по обработке скважины;
- прием, хранение и закачивание ингибитора гидратообразования и химреагентов в скважину;
- техническое обслуживание и ремонт подводных добычных комплексов;
- глушение и цементирование скважин.

Предусмотрен модульный принцип компоновки оборудования технологического комплекса, что расширяет функциональные возможности платформы. Корпус имеет двойное дно, двойные борта и разделен поперечными переборками на 11 отсеков. В корпусе имеется вырез размером 8х8 м для спуска и подъема технологического и устьевого оборудования.

Для верхней палубы, днища и второго дна обосновано использование продольной системы набора. Борта сконструированы

по поперечной системе набора с учетом требований правил РМРС к категории ледовых усилений Arc 5. Носовая оконечность корпуса выполнена в соответствии с требованиями к судам ледового плавания и имеет соответствующие обводы.

На ПВСА предусмотрена комбинированная система удержания: на чистой воде – якорная и динамическая, в ледовых условиях – динамическая. Якорная система удержания состоит из четырех якорно-швартовых линий. Для обеспечения удержания на точке судно снабжается четырьмя якорями типа Stevin Mk3, которые расположены по два в носу и в корме. Четыре якорные линии (комбинированные) состоят из цепей и стальных канатов.

Двигательно-рулевой комплекс ПВСА включает следующие компоненты: два винторулевые колонки с открытыми гребными винтами фиксированного шага мощностью около 9000 кВт каждая, расположенные в кормовой части корпуса; две выдвигные двигательно-рулевые колонки с гребными винтами фиксированного шага в насадке мощностью около 3000 кВт каждая, расположенные в носовой части корпуса.

В целом система динамического позиционирования ориентирует

ПВСА носом на направление дрейфа льда, минимизируя ледовую нагрузку. Для обеспечения работоспособности системы Е.Б. Карулин выполнил комплекс расчетных исследований по взаимодействию льда с корпусом. На его основании показано, что удержание ПВСА возможно в мелкобитом льду толщиной до 0,8 м сплоченностью до 9 баллов.

Энергетическая установка ПВСА должна обеспечивать высокую мощность при ходе в ледовых условиях, достаточную гибкость распределения мощности при динамическом позиционировании, а также высокую экономичность на режиме экономичного хода. При этом должен обеспечиваться необходимый резерв мощности для сохранения режима позиционирования при различных погодных условиях. Таким критериям в наибольшей степени отвечает дизель-электрическая энергетическая установка, состоящая из четырех главных дизель-генераторов электрической мощностью около 5760 кВт каждый, с приводом от четырехтактных дизельных двигателей мощностью около 6000 кВт каждый.

В целом, выполненные расчетные исследования и обоснования показали, что ПВСА может функционировать в условиях сплошного тонкого однолетнего льда и битого льда при воздействии температур окружающего воздуха до -40°C . Указанному соответствует используемая категория ледовых усилений, арктическое исполнение систем, оборудования и комбинированная система удержания.