

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕДОСТОЙКИХ ПОЛУПОГРУЖНЫХ ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Г. Б. Крыжевич

ФГУП «Нрыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 22 июня 2017 г.

Выявлены прогрессивные тенденции в создании ледостойких полупогружных плавучих буровых установок (ППБУ) и изложены инновационные проектные решения. Выполнены сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования и строительства ледостойких ППБУ и поиск прогрессивных технических решений, обеспечивающих круглогодичность эксплуатации установок в сложных ледовых условиях и повышение их экономической эффективности. Приведенные рекомендации направлены на повышение надежности и рентабельности ледостойких ППБУ при эксплуатации в Арктике.

Ключевые слова: установки буровые плавучие полупогружные, платформы арктические, прочность ледовая, концепция арктической буровой установки, круглогодичная эксплуатация.

Общие подходы к назначению уровня ледостойкости ППБУ

Полупогружные плавучие буровые установки занимают доминирующее положение среди установок, применяемых в практике морского разведочного бурения. Вместе с тем в арктических регионах они до сих пор эксплуатируются относительно редко. Это связано с тем, что использование ППБУ в сложных ледовых условиях по сравнению с их эксплуатацией при отсутствии ледяного покрова требует более значительных капитальных и эксплуатационных затрат [1]. При этом на резкий рост затрат влияет не только необходимость усиления конструкции ППБУ и системы ее удержания (позиционирования) с целью придания установке повышенной ледостойкости, но и потребность использования при эксплуатации в тяжелых ледовых условиях весьма дорогостоящих мощных ледокольных судов с ядерными энергетическими установками для обеспечения непрерывного ледового менеджмента, гарантирующего безопасность эксплуатации.

Именно поэтому обычно стараются избегать круглогодичной эксплуатации ППБУ на точке бурения в чрезмерно сложных ледовых условиях. Ледовые подкрепления большинства созданных установок позволяют буксировать и осуществлять их эксплуатацию в относительно легких ледовых условиях. Для защиты морских водоотделяющих колонн-райзеров

от льда на подобных объектах всегда предусматривается дополнительная центральная колонна (защитный кожух), сквозь которую осуществляется бурение скважины. Такие ППБУ выполняют основные функции только в течение благоприятного «окна» (при отсутствии ледяного покрова с большой толщиной). При этом взвешенно оценивают его продолжительность, исходя из климатических условий акватории и данных метеопрогнозов.

Отмеченные особенности эксплуатации ледостойких ППБУ делают необходимым экономически обоснованный подход к назначению уровня ледостойкости ППБУ и ее обеспечению за счет конструктивных мер. Этот подход включает поиск оптимальных технических решений, обеспечивающих наибольшую экономическую эффективность ППБУ в конкретных условиях эксплуатации, характеризуемых:

- ледовой обстановкой;
- глубиной моря;
- повторяемостью интенсивного волнения;
- удаленностью от места убежища, используемого при плохой ледовой обстановке, и от других объектов инфраструктуры;
- экологической спецификой региона.

Поиск рациональных проектных решений обычно приводит к некоторому компромиссу между уровнем ледостойкости установки, ее материалоемкостью, ходкостью (включая ходкость во льдах) и интенсивностью качки на морском волнении. Такой поиск, как правило, заканчивается одним из



Рис. 1. ППБУ «Jack Bates» в рабочем положении (слева) и при перевозке на палубе судна (справа)

двух типовых решений, существенно отличающихся уровнем ледостойкости. При первом из них идут на создание ППБУ с ограниченной ледостойкостью, требующей снятия установки с рабочей точки при угрозе возникновения недопустимо тяжелой ледовой обстановки. При втором решении создают ППБУ, допускающую круглогодичную эксплуатацию (в том числе в суровых ледовых условиях). Такая установка представляет собой большое и дорогостоящее сооружение, такое, например, как ППБУ «JBF Arctic» с проектным водоизмещением порожнем около 70 тыс. т. Установки с ограниченной ледостойкостью значительно меньше (в частности, платформа «Полярная звезда» имеет водоизмещение примерно в двое меньше, чем «JBF Arctic»). Отсюда следуют относительно низкие затраты на строительство таких платформ. Ниже рассмотрены особенности этих типовых проектных решений ППБУ и возможности их совершенствования.

ППБУ с ограниченной ледостойкостью

В ряду зарубежных разработок значительный интерес представляет концепция ППБУ с ограниченной ледостойкостью, предложенная компанией «Mitsui» в 1983 г. В соответствии с ней установка имеет пять колонн, расположенных в угловых точках прямоугольника и осуществляющих ее стабилизацию, а также в центре сооружения, причем центральная колонна выполняет функцию защиты райзера ото льда. Для уменьшения ледовых воздействий в этой концепции не используются подкрепляющие установку поперечные связи, пересекающие ватерлинию. На всех колоннах располагаются конические ледоразрушающие наделки. В условиях чистой воды для уменьшения волновых нагрузок предусматривается расположение ледоразрушающих наделок выше уровня воды, достигаемое за счет соответствующей балластировки. Предусматривается возможность эксплуатации

установки как погружной платформы на глубинах моря до 20 м.

Описанная компоновка с четырьмя стабилизирующими колоннами и центральной колонной, защищающей райзер, использовалась и компанией «Friede & Goldman», разработавшей в середине 1980-х годов проект «Trendsetter», по которому были построены два объекта — ППБУ «Jack Bates» (рис. 1), эксплуатировавшаяся у побережья Австралии, и ППБУ «Spirit of Columbus», переоборудованная в добычную платформу и под названием P-36 работавшая у побережья Бразилии. Такая переориентация использования этих установок с северных широт на южные была, по-видимому, оправдана, поскольку наличие у них пересекающих ватерлинию поперечных связей и большие поперечные размеры пяти колонн могли привести к большим ледовым нагрузкам на платформы, а также к ускоренному формированию ледовых воротников вокруг колонн и расколов и даже к появлению единого мощного ледового воротникового образования, охватывающего весь периметр платформы.

Эксплуатацию в легких ледовых условиях (в ровном молодом льду толщиной 0,3 м или в разреженном льду толщиной 1 м) допускали и разработанные в 1980-х годах шведской фирмой «Gotaverken Arendal» модификации ППБУ (GVA-4000A и GVA-5000A). Известны и другие проработки ППБУ, предназначенных для эксплуатации и буксировки в тонком и мелкобитом льду.

Для разведочного бурения на Штокмановском месторождении на базе лицензионного проекта полупогружной платформы CS-50 норвежской фирмы «Moss Maritime» (рис. 2) в 2010—2011 гг. были спроектированы Крыловским государственным научным центром и построены две первые отечественные ППБУ «Полярная звезда» и «Северное сияние» (рис. 3). Их создание потребовало новых принципиальных конструктивных решений по обеспечению

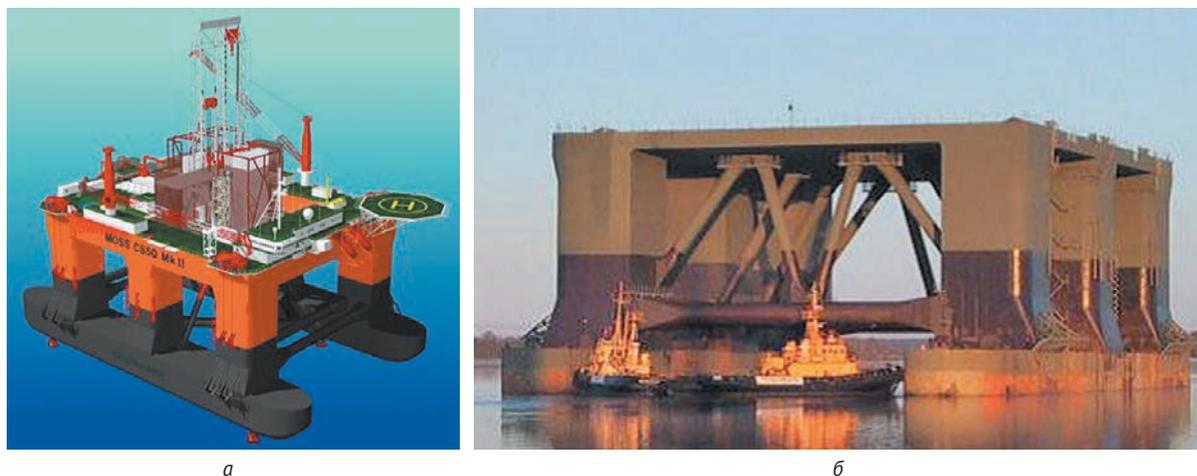


Рис. 2. ППБУ CS-50 норвежской фирмы «Moss Maritime»: а – общий вид, б – опорное основание



Рис. 3. ППБУ «Полярная звезда»: а – общий вид, б – опорное основание у дострочной стенки Выборгского судостроительного завода

ледостойкости ППБУ. При этом впервые в отечественной практике этим установкам Российским морским регистром судоходства был присвоен ледовый класс.

Установки рассчитаны на эксплуатацию в битом однолетнем льду толщиной до 0,7 м и в дрейфующем разреженном льду сплоченностью до 6 баллов при глубине моря до 500 м и глубине бурения до 7500 м. ППБУ имеют собственные движительно-рулевые комплексы. Буксировка ледокольным судном установки с применением этих комплексов допускается в сплошном ровном льду толщиной до 0,2 м при скорости около 2 узлов. Защита райзера российской платформы ото льда выполнена в виде специальной центральной колонны, закрепленной с помощью поперечных связей на понтонах (рис. 4). Для снижения ледовых воздействий на ППБУ не использовались (в отличие от базового проекта CS50) подкрепляющие наклонные связи, пересекающие эксплуатационную ватерлинию. В целях повышения жесткости установки предусмотрены дополнительные горизонтальные связи, установленные ниже эксплуатационной ватерлинии и образующие совместно с колоннами и понтонами горизонтальные рамы.

Представляет интерес сравнение платформ CS-50 и «Полярная звезда» по эксплуатационным возможностям и массогабаритным показателям.

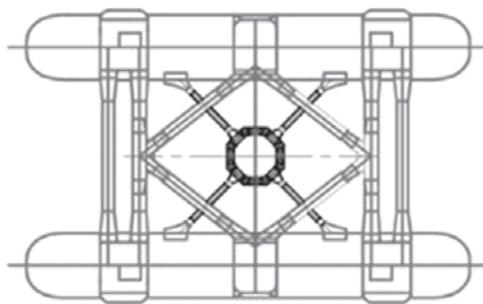
ППБУ CS-50 норвежской фирмы «Moss Maritime» обладает очень низкой ледостойкостью, дающей возможность эксплуатации объекта только в районах с битым льдом, тем самым ограничивая зону эксплуатации. Именно по этой причине ни одна из восьми построенных по этому проекту установок не получила ледового класса в классификационных обществах, однако все они имели определенное преимущество — относительно низкую материалоемкость.

Платформа CS-50 имеет два погруженных в воду понтона, соединенных между собой трубчатыми конструкциями, расположенными попарно в носовой и кормовой оконечностях и имеющих диаметр 3 м. Кроме того, в средней части понтоны соединены с помощью горизонтально расположенных раскосов. Раскосы в виде труб диаметром 2 м, расположенные в вертикальной плоскости, образуют совместно с горизонтальными трубами и поперечными балками палубы, вертикальные рамы, обеспечивающие поперечную жесткость и прочность опорного

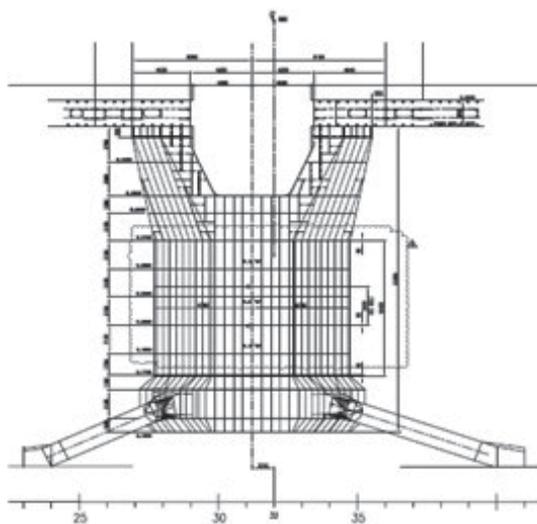


а

Рис. 4. Конструкция защиты райзеров ППБУ «Полярная звезда»: а — общий вид защиты, установленной на опорном основании, б — схема установки защиты на опорном основании (вид в плане), в — вид сбоку (схема)



б



в

основания. Понтон с установленными на них шестью вертикальными стабилизирующими колоннами, соединенными сваркой с палубой, образуют опорное основание для верхнего строения платформы (см. рис. 2б). ППБУ этого типа «West Venture» имела длину 117,6 м и ширину 69,7 м. Водоизмещение при осадке 9,8 м составляло 31 250 т.

Для снижения материалоемкости верхнего строения и ППБУ в целом в проекте CS-50 применены две пары раскосов диаметром 2 м, поддерживающих центральную часть платформы, сильно нагруженную весом бурового оборудования. Для эффективного обеспечения прочности и жесткости установки (достигаемых без значительного увеличения металлоемкости) используются четыре пары промежуточных раскосов, образующих благодаря наличию поперечных горизонтальных раскосов плоские вертикальные фермы. Они способствуют главным образом надежному соединению нижних боковых частей ППБУ (понтон и расположенных на них колонн), а также обеспечению жесткости платформы при поперечном изгибе и при кручении.

ППБУ «Полярная звезда» (рис. 3—5) и «Северное сияние» (длина 118,6 м, ширина верхнего строения 72,7 м, ширина опорного основания 92 м) мало отличаются от проекта «West Venture» по основным габаритным размерам. Однако отечественная платформа существенно превосходит норвежский вариант по водоизмещению при осадке 9,8 м, составлявшему 39 300 т. Такое различие в водоизмещении обусловлено прежде всего разными требованиями к ледостойкости, повлекшими увеличение прочности и массы конструкций ледового пояса и системы удержания (позиционирования) ППБУ.

В ледостойком исполнении отечественных платформ (в отличие от проекта CS-50) отсутствуют шесть пар раскосов, образующих поперечные рамы, поскольку они способствуют формированию массивных ледовых воротников и существенно

увеличивают общие ледовые нагрузки на сооружение. Следствием такого решения является ликвидация дополнительных опор верхнего строения, уменьшавших изгиб верхнего строения платформы CS-50 под действием собственного веса и волновых нагрузок и, соответственно, снижавших материалоемкость строения.

Платформа «Полярная звезда» соответствует требованиям «Правил классификации и постройки и оборудования плавучих буровых установок и ледостойких стационарных платформ» Российского морского регистра судоходства. Основной конструкционный материал — сталь с пределом текучести 355 МПа. Платформа оснащена лебедками, обслуживаемыми восемь якорных линий по 2200 м, состоящих из стальных цепей NV R5 калибром 84 мм с разрывным усилием 8381 кН каждая.

Для обеспечения ледовой прочности платформы «Полярная звезда» потребовалось создание усиленных корпусных конструкций. Конструкция понтонов ППБУ «Полярная звезда», набранная по продольной системе с диаметральной (продольной) переборкой, включает также продольные и поперечные переборки, выгораживающие отдельные цистерны и специальные помещения. Шпация основного набора понтонов — 640 мм, шпация рамного набора — 1920 мм.

Верхнее строение (см. рис. 5) включает буровое оборудование с вышкой, жилой блок-модуль, рубку

Кораблестроение для Арктики

и вертолетную площадку. Основу его конструктивно-силовой схемы составляют поперечные переборки, простирающиеся от днища строения до его верхней палубы (высота переборок составляет 9 м). Основные (усиленные) поперечные переборки совмещены со стабилизирующими колоннами. Благодаря им вес верхнего строения порядка 20 000 т передается на стабилизирующие колонны. При проектировании поперечных переборок с целью снижения материалоемкости большое внимание следует уделять их конструктивно-силовой схеме. Особенностью конструкции переборок платформ CS-50 и «Полярной звезды» является установка вертикальных опорных труб, простирающихся по всей высоте переборок, разделяющих их по ширине и служащих для восприятия веса бурового стола. Однако в ППБУ CS-50 эти трубы опираются на расположенные под верхним строением поперечные рамы с трубчатыми раскосами. В отечественной платформе усилия от труб передаются только непосредственно на переборку, что приводит к необходимости использования больших толщин для ее элементов и увеличения их массы.

Для снижения веса силовых конструкций верхнего строения целесообразно применение взамен массивных переборок ферменных конструкций. Такое техническое решение не характерно для платформ CS-50 и «Полярная звезда», однако оно часто используется при проектировании транспортных судов большого водоизмещения, перевозящих на палубах тяжелые грузы (рис. 6). Фермы можно чередовать с обычными водонепроницаемыми переборками, позволяющими формировать водонепроницаемые отсеки. При проектировании ферм для снижения их материалоемкости стержневые элементы предпочтительно выполнять из труб.

Разработанные технические решения по обеспечению надежности и прочности ППБУ «Полярная звезда» ледового класса, а также по транспортировке ее блок-модулей и сборке из них установки в морских условиях [4], безусловно, в перспективе



Рис. 5. Верхнее строение ППБУ «Полярная звезда» на палубе транспортного судна

позитивно скажутся при создании новых подобных установок. Вместе с тем следует признать, что использование в качестве прототипа (лицензионного проекта) установки, спроектированной для легких ледовых условий, для создания ледостойкой платформы неизбежно требует более решительного отказа от многих технических решений, принятых в лицензионном проекте, и активного поиска новых рациональных архитектурно-компоновочных решений и конструктивно-силовых схем верхнего строения и опорного основания.

В работе [2] выполнено сопоставление металлозатрат на создание конструкций и устройств ППБУ «Полярная звезда» и платформы CS-50.

Общее увеличение материалоемкости «Полярной звезды» по сравнению с CS-50 составляет около 87%. При этом усиление конструкций и создание защиты райзера, обеспечивающие повышение ледостойкости ППБУ, потребовало увеличения материалоемкости на 53%, а создание усиленной системы удержания (включая якорные линии) — на 29%. Такой значительный рост материалоемкости при создании сооружений с ограниченной ледостойкостью говорит об актуальности поиска способов уменьшения ледовых нагрузок и снижения затрат металла на создание конструкций.

С учетом изложенного можно заключить, что одним из ключевых направлений в российской

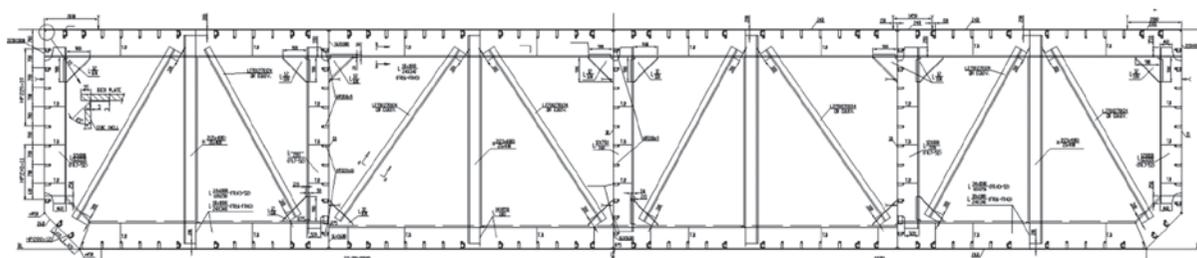


Рис. 6. Ферменные конструкции (высота 8 м) судна для перевозки тяжелых грузов «Anissa»

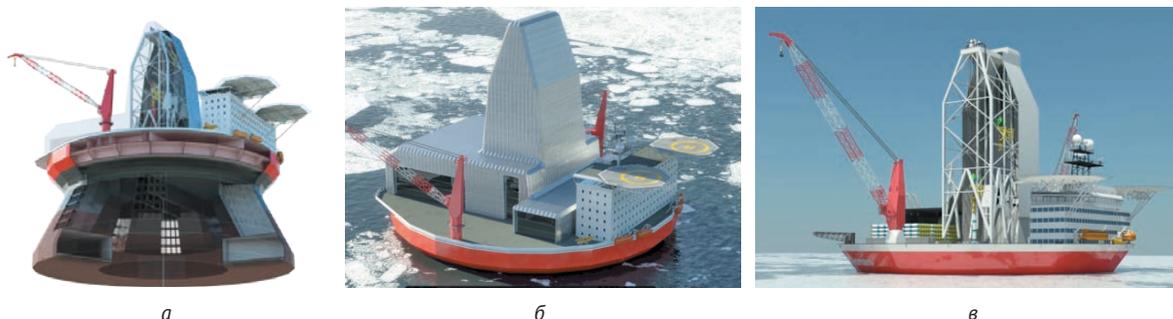


Рис. 7. ППБУ «JBF Arctic»: а – общий вид (опорное основание показано в разрезе), б – вид в условиях волнения, в – вид в ледовых условиях

практике строительства арктических морских сооружений должно являться создание рациональных архитектурно-конструктивных форм ППБУ, позволяющих снизить ледовые воздействия на них. На этом пути необходимо в максимальной мере исключить использование раскосов (особенно в случае пересечения ими ватерлинии), уменьшать площадь поперечного сечения стабилизирующих колонн и их число, использовать наклонные колонны или наделки на них [3], обеспечивающие разрушение льда изгибом.

ППБУ с круглогодичной эксплуатацией на точках бурения

Практика создания ледостойких ППБУ показывает, что в большинстве случаев проектанты отдают предпочтение созданию объектов с ограниченным уровнем ледостойкости, но есть и исключения. К настоящему времени имеется хорошо проработанный компанией «Huisman» проект полупогружной установки [1], предназначенной для круглогодичной эксплуатации в экстремальных ледовых условиях (при толщине льда порядка 2–3 м) — ППБУ «JBF Arctic» (рис. 7).

Установка (рис. 8) состоит из кольцеобразного понтона 1 диаметром 116 м, на котором закреплены восемь наклонных стабилизирующих колонн 2 с решетками между ними. Решетки препятствуют прониканию крупных фрагментов разрушаемого льда в пространство между колоннами и созданию опасных условий

для функционирования райзера. На колоннах располагается верхнее строение 3 со сдвоенной буровой вышкой 4.

Органическими недостатками традиционного архитектурно-компоновочного облика ППБУ (например, платформы «Полярная звезда») являются:

- необходимость создания специальных материалоемких конструкций защиты райзера от ледовых воздействий;
- возможность заклинивания обломков льда между стабилизирующими колоннами (а также между колоннами и защитой райзера), вызывающего увеличение глобального воздействия ледяных образований на ППБУ.

ППБУ «JBF Arctic» лишена этих недостатков, однако имеет вследствие обширных каналов теплопередачи от погруженного в воду опорного основания к верхнему строению повышенную склонность

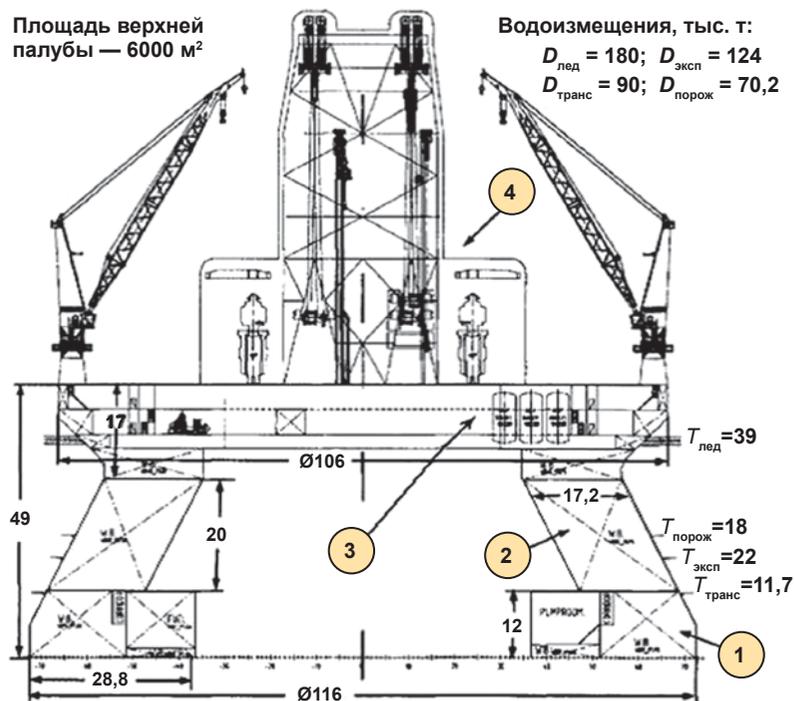


Рис. 8. Схема сечения ППБУ «JBF Arctic» по оси симметрии опорного основания с указанием основных размеров и уровней осадок (в метрах), соответствующих условиям эксплуатации в режимах: ледовом, при выживании, бурении на чистой воде и транспортировке

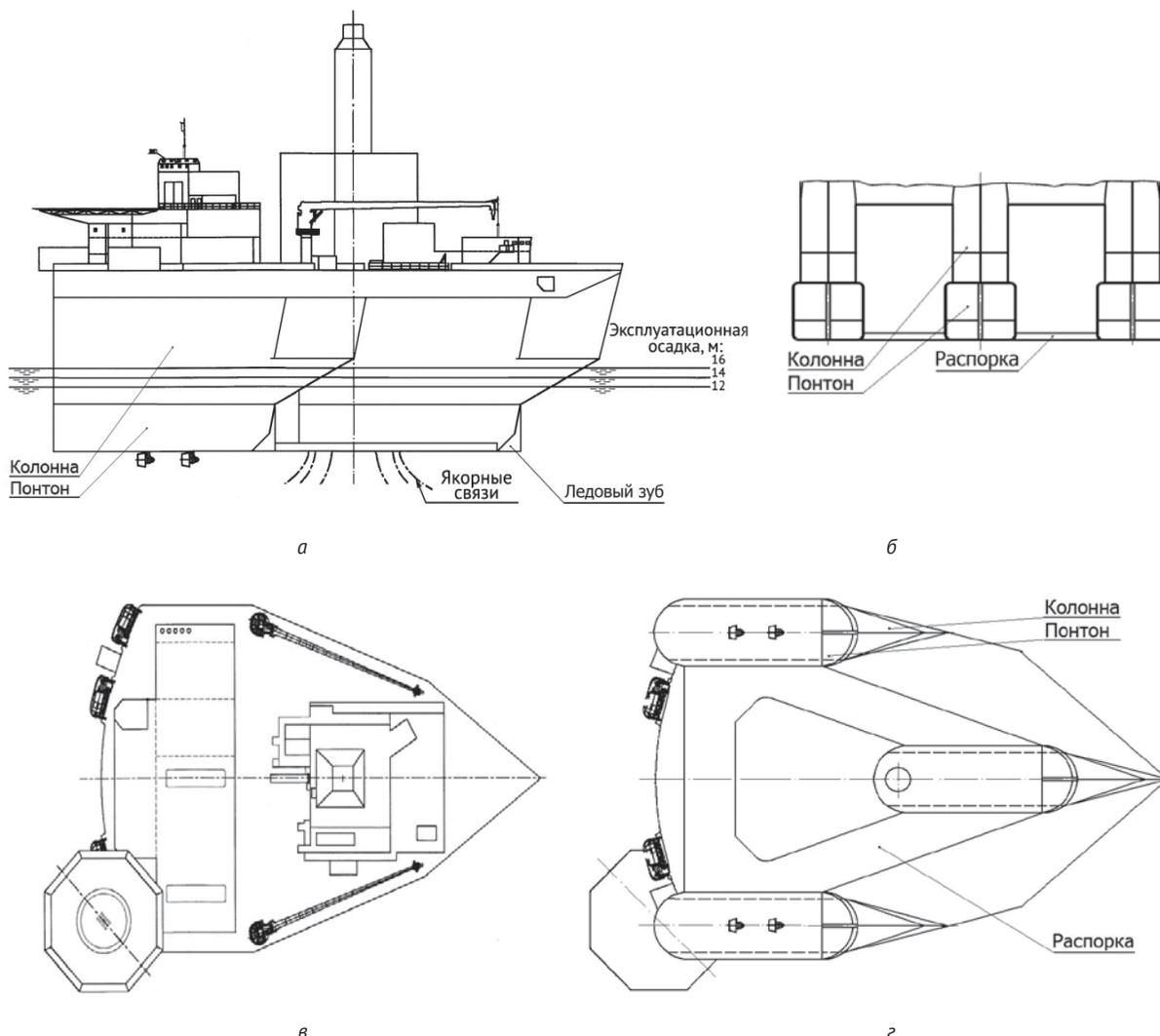


Рис. 9. Перспективная ледостойкая ППБУ: а – вид сбоку, б – вид спереди на стабилизирующие колонны и понтоны, в – вид сверху, г – вид снизу

к формированию ледовых воротников, развитие которых может приводить к образованию внутри опорного основания сплошной массивной ледяной пробки. Кроме того, появлению массивной пробки может способствовать заброс в условиях ветра и волнения ледяной шуги в застойную зону (в подкупольное пространство установки, образуемое наклонными колоннами и верхним строением).

Учитывая ориентацию этой ППБУ на экстремальные ледовые условия эксплуатации, можно высказать следующее соображения. Если ледовые силы назначены обоснованно, а параметры ледового пояса и якорных линий выбраны правильно, то установка может вполне удовлетворять требованиям эксплуатационной безопасности и обеспечивать высокую прибыль от эксплуатации в тяжелых ледовых условиях. В этом случае до завершения строительства скважины установка может не покидать район буровых работ, поскольку рассчитана на экстремально возможные ледовые условия. Но эта

концепция может быть нерациональной при относительно малой продолжительности экстремальных ледовых условий в районе бурения.

Максимальная глубина акватории в местах эксплуатации ППБУ «JBF Arctic» не должна превышать 1500 м, глубина бурения — 12 000 м. Удержание на точке обеспечивают 20 якорных линий в виде цепей калибра 162 мм.

В проекте для каждого режима эксплуатации выбраны четыре различные осадки, обеспечивающие:

- хорошее демпфирование качки на волнении за счет рассеяния энергии при пересечении наклонными стабилизационными колоннами поверхности жидкости, сопровождающимся интенсивным волнообразованием;
- снижение ледовых нагрузок благодаря разрушению льда изгибом при его взаимодействии с наклонными стабилизационными колоннами;
- повышение ходкости ППБУ благодаря малой осадке в транспортном положении.

Испытания ходовых и ледовых качеств ППБУ трех моделей («JBF Arctic», классической и цилиндрической форм), проведенные в бассейнах Крыловского государственного научного центра, показали преимущества технических решений, использованных при проектировании «JBF Arctic» [1].

На рис. 9 показано одно из инновационных технических решений по созданию ледостойких ППБУ, также (как и платформа «JBF Arctic») свободное от недостатков традиционного архитектурно-компоновочного облика ППБУ. Оно пригодно для использования на арктических акваториях с глубинами до 400—450 м. Такие глубины характерны для практически всех месторождений Баренцева и Охотского морей, для большей части месторождений Карского и Чукотского морей. Есть глубоководные лицензионные участки и в акваториях моря Лаптевых и Печорского моря.

Ликвидация недостатков традиционного облика полупогружной установки достигается за счет перехода от катамаранной схемы сооружения к тримаранной. Установка состоит из трех понтонов (одного центрального и двух боковых), соединяемых с верхним строением с помощью трех стабилизирующих колонн. Эти колонны могут быть соединены между собой в нижней части с помощью распорок. Стабилизирующие колонны и понтоны содержат балластные цистерны. Понтоны имеют закругления в оконечностях, улучшающие ходовые качества ППБУ. Для придания ледорезных качеств носовые оконечности стабилизирующих колонн имеют клинообразную форму поперечных сечений, а в носовых частях понтонов содержатся ледовые зубья. Форштевни стабилизирующих колонн в районе ватерлинии выполняются с наклоном, обеспечивающим разрушение льда изгибом. Ватерлинии колонн в носовых частях заострены.

Боковые понтоны и колонны сильно сдвинуты в корму ППБУ по отношению к центральному понтону. При этом носовые части боковых колонн располагаются после кормовой части центральной колонны. Такое взаимное расположение колонн обеспечивает прохождение обломков льда под установкой (под верхним строением) без заклинивания.

Установка включает в себя вертикальную шахту, проходящую через верхнее строение, центральную стабилизирующую колонну и центральный понтон. В шахте располагается райзер. В нижней части шахты расположена ниша для турели, к которой присоединяется якорная система удержания. Заострение носовых оконечностей колонн и их взаимное расположение обеспечивают ориентацию носовой части ППБУ навстречу движению ледового поля.

На верхней палубе верхнего строения расположены буровая установка, блок технологического оборудования, жилой модуль, вертолетная площадка, спасательные шлюпки.

Расчетные оценки показывают, что при габаритной длине установки 114 м и ширине 68 м ее

водоизмещение составляет 21 100 т. При расчетной толщине ровного льда 3 м ледовая нагрузка составит около 7,5 МН, нагрузка от тороса — около 16 МН. Следует подчеркнуть, что эти значения ледовых нагрузок оказывают прямое влияние на количество и массу связей якорной системы. Так как нетрадиционная форма ледорезных стабилизирующих колонн способствует значительному снижению воздействий ледовых нагрузок на сооружение, масса якорной системы позиционирования и усилия в якорных линиях в сравнении с аналогичной системой позиционирования ППБУ с традиционной архитектурно-компоновочной схемой будут меньшими.

ППБУ-тримаран с турелью является одним из перспективных вариантов компоновки ледостойкой платформы для использования при освоении глубоководных месторождений арктического шельфа и включает целый ряд инновационных решений, обеспечивающих снижение затрат на разведочное бурение. При этом значительный практический интерес представляет вариант, в котором отсутствуют турельное устройство и якорные линии, которые заменяются системой динамического позиционирования.

Выводы и рекомендации

Многолетний опыт эксплуатации ППБУ показал, что принцип полупогружных корпусов, обеспечивших ППБУ ведущие позиции в сегменте буровых установок, сохранит важную роль и при создании новых ледостойких платформ. При этом особую значимость приобретает дальнейший поиск оптимальных технических решений по созданию разнообразных конструктивных типов ППБУ, способных обеспечить высокую рентабельность установок в конкретных природных условиях эксплуатации, характеризующихся параметрами ледовых полей, волнения и ветра. Традиционные и вновь предлагаемые архитектурно-компоновочные решения нацелены на уменьшение площади действующей ватерлинии, способствующей снижению волновых и ледовых воздействий на установки, сохранение важного свойства «волнопрозрачности» погруженной части ППБУ и, как следствие, на уменьшение ее горизонтальных и вертикальных перемещений при качке. Созданные на этой основе ППБУ смогут быть вполне ледостойкими, удобными в эксплуатации и займут одно из лидирующих положений на мировом рынке океанотехники.

К достоинствам этих установок следует отнести:

- относительно высокую мобильность, менее сложную постановку на рабочую точку и снятие с нее по сравнению с СПБУ;
- возможность проводить глубоководное бурение на глубинах моря 150—1500 м и более; в настоящее время имеется несколько установок, способных осуществлять буровые работы на глубинах моря 2000—3000 м;

Кораблестроение для Арктики

- малую интенсивность качки и высокую стабильность удержания на рабочей точке при воздействии морского волнения;
- большую приспособленность для работы в условиях газовых фонтанов и достаточную остойчивость при их наличии.

Рационализация конструкций ледового пояса колонн с целью уменьшения ледовых нагрузок и материалоемкости является одним из основных направлений совершенствования ледостойких установок. В этом плане наработки, сделанные при создании первых отечественных ледостойких ППБУ, позволяют предложить ряд новых конструктивных решений [3], направленных на повышение ледостойкости таких платформ и снижение толщин элементов ледового пояса. Важность подобного снижения вызвана не только необходимостью минимизации металлозатрат при строительстве ППБУ, но и трудноразрешимыми проблемами, возникающими при попытке выполнения требований классификационных обществ к ледостойкости конструкций платформ в том случае, когда свариваемые элементы конструкции имеют толщину порядка 30 мм и более [5].

К настоящему времени накоплен некоторый опыт проектирования и эксплуатации ледостойких ППБУ, который позволяет считать их надежными и отвечающими современным требованиям морского бурения в арктических условиях. На основе этого опыта намечаются рациональные архитектурно-конструктивные формы ледостойких ППБУ, для которых характерны:

- Использование двух или трех упрощенных подводных понтонов со стабилизирующими колоннами (по одной или по две на каждый понтон). Подводные понтоны могут соединяться между собой расположенными в горизонтальной плоскости распорками. Какие-либо раскосы, пересекающие ватерлинию, отсутствуют, что позитивно отражается на уровне волновых и ледовых воздействий на платформы.
- Упрощенная конфигурация стабилизирующих колонн (от цилиндрических до прямоугольных).
- Применение наклонных колонн (либо ледоразрушающих наделок [3]), увеличивающих демпфирование качки и снижающих ледовые нагрузки.
- Применение ледорезной формы стабилизирующих колонн и ледовых зубьев в их подводной части.

При использовании прямоугольных (квадратных) колонн со скошенными углами одна из граней колонн, как правило, устанавливается заподлицо с бортовой обшивкой, что позитивно сказывается на прочности сооружения в целом.

Заметим, что наклонная конфигурация стабилизирующих колонн весьма эффективна, поскольку не только уменьшает качку ППБУ на волнении, но и вызывает разрушение изгибом ледяного покрова, ползающего на боковую поверхность колонны. При этом уровень ледовых нагрузок по сравнению с вертикальной цилиндрической колонной существенно снижается. Поэтому в обозримом будущем наклонные стабилизирующие колонны могут стать одной из важнейших особенностей облика ледостойких ППБУ. Другой характерной чертой облика должно стать уменьшенное число колонн, приходящихся на один понтон (не более двух). Малое число колонн не только способствует снижению глобальных ледовых воздействий на ППБУ, но и позволяет снизить материалоемкость установок (не снижая показателей жесткости и прочности), поскольку при установленном ограничении на массу конструкций увеличение размеров сечений колонн более благоприятно сказывается на увеличении суммарных значений моментов инерции и моментов сопротивлений сечений, чем увеличение числа колонн.

Литература

1. Плавающие полупогружные буровые установки: история, современность, перспективы: Аналитический обзор. — СПб.: ФГУП «Крыл. гос. науч. центр», 2014. — 212 с.
2. Крыжевич Г. Б., Подгорный Л. Н., Попов Н. Г., Шапошников В. М. Анализ конструктивного облика и материалоемкости конструкций ледостойких плавучих буровых установок на примерах создания крупнотоннажных платформ «Полярная звезда» и CS-50 // Proceedings of International Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering, NAOE2016, June 6—8, 2016, Saint-Petersburg, Russia.
3. Крыжевич Г. Б. Новые конструктивные решения для ледового пояса стальных морских сооружений // Тр. Крыл. гос. науч. центра. — 2015. — Вып. 86 (370). — С. 133—138.
4. Крыжевич Г. Б., Попов Н. Г. Монтаж плавучих буровых установок методом надвига на плавучую с деформированием конструкций опорного основания // Науч.-техн. сб. Рос. мор. регистра судоходства. — 2016. — № 44/45. — С. 32—40.
5. Крыжевич Г. Б. Прочность толстолистовых сварных конструкций судов и океанотехники в арктических условиях // Тр. Крыл. гос. науч. центра. — 2017. — Вып. 2 (380). — С. 32—41.

Информация об авторе

Крыжевич Геннадий Брониславович, доктор технических наук, профессор, начальник сектора, Крыловский государственный научный центр (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), e-mail: G_Kryzhevich@ksrc.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Крыжевич Г. Б. Проблемы проектирования и перспективы развития ледостойких полупогружных плавучих буровых установок // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 4 (28). — С. 108—117. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-108-117.

DESIGN PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS FOR ICE-RESISTANT SEMISUBMERSIBLE FLOATING DRILLING UNITS

Kryzhevich G. B.

FSUE "Krylov State Research Center" (St.Petersburg, Russian Federation)

Abstract

The work goal consists in identification of advanced trends in development of ice-resistant semisubmersible floating drilling units (SFDU) and elaboration of the new conceptual solution. To reach this goal, the home and foreign experience of design and building of ice-resistant SFDU was analyzed comparatively and progressive technical solutions, which provide year-round operation of units in severe ice conditions and increase of their economical efficiency, were searched for. It was demonstrated that small waterline area, use of two or three simplified underwater pontoons with stabilizing columns, absence of additional (relatively the columns) braces, which cross the waterline, application of inclined columns (or ice-breaking caps), which increase the motion damping and decrease ice loads, application of ice-cutting shape of stabilizing columns and ice teeth in their underwater portions are typical for rational architectural and structural shapes of ice-resistant SFDU.

SFDU-trimaran with a turret-type device having increased ice-resistance and ensuring cost decrease for exploratory boring was considered as an innovative solution. Recommendations of the paper serve for increase of ice-resistant SFDU reliability and profitability during Arctic operation.

Keywords: *semisubmersible floating drilling units, arctic platforms, ice strength, arctic drilling unit concept, year-round operation.*

References

1. Plavuchiye polupogruzhnyye burovyye ustanovki: istoriya, sovremennost, perspektivy: Analiticheskiy obzor. [Semisubmersible floating drilling units: history, prospects. Analytical review]. St. Petersburg, FGUP "Kryl. gos. nauch. tsentr", 2014, 212 p. (In Russian).
2. Kryzhevich G. B., Podgornyy L. N., Popov N. G., Shaposhnikov V. M. Analiz konstruktivnogo oblika i materialoyemkosti konstruksiy ledostoykikh plavuchikh burovykh ustanovok na primerakh sozdaniya krupnotonnazhnykh platform "Polyarnaya Zvezda" i SS-50. [Analysis of the structural layout and materials consumption for structures of ice-resistant floating drilling units as exemplified by developing large-capacity platforms "Poliarnaya zvezda" and CS-50]. Proceedings of International Conference on Naval Architecture and Ocean Engineering, NAOE2016, June 6-8, 2016, St. Petersburg, Russia. (In Russian).
3. Kryzhevich G. B. Novyye konstruktivnyye resheniya dlya ledovogo poyasa stalnykh morskikh sooruzheniy. [New structural solutions for ice belts of steel offshore structures]. Tr. Kryl. gos. nauch. tsentra, 2015, vyp. 86 (370), pp. 133—138. (In Russian).
4. Kryzhevich G. B., Popov N. G. Montazh plavuchikh burovykh ustanovok metodom nadviga na plavu s deformirovaniyem konstruksiy opornogo osnovaniya. [Assembly of floating drilling units afloat by overthrust with deforming the substructure structures]. Nauch.-tekhn. sb. Ros. mor. registra sudokhodstva, 2016, no. 44/45, pp. 32—40. (In Russian).
5. Kryzhevich G. B. Prochnost tolstolistovykh svarnykh konstruksiy sudov i okeanotekhniki v arkticheskikh usloviyakh. [Strength of plate welded structures of vessels and ocean engineering in Arctic conditions]. Tr. Kryl. gos. nauch. tsentra, 2017, vyp. 2 (380), pp. 32—41. (In Russian).

Information about the author

Kryzhevich Gennady Bronislavovich, Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Section, FSUE "Krylov State Research Center" (44, Moskovskoye shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: G_Kryzhevich@ksrc.ru.

Bibliographic description

Kryzhevich G. B. Design Problems and development prospects for ice-resistant semisubmersible floating drilling units. The Arctic: ecology and economy, 2017, no. 4 (28), pp. 108—117. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-108-117. (In Russian).