

# Гидротехника

наука и технологии

НАКОПИТЕЛИ  
ЖИДКИХ ОТХОДОВ

РЕМОНТ  
ГТС

№ 3, 2022

сентябрь — октябрь



УНИВЕРСАЛЬНАЯ  
БЕСПИЛОТНАЯ  
ПЛАТФОРМА  
«КАЛАН»

СТР. 20-22

# СОДЕРЖАНИЕ

## МОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ ГТС

- Ковалев М. В., Благовидова И. Л., Тертышникова А. С., Благовидов Л. Б.** Особенности проектирования мобильной плавучей буровой установки для разведочного бурения в Арктической зоне РФ и Дальнего Востока ..... 2
- Комаровский Ю. А.** Контроль точности работы судовых курсоуказателей вблизи морских платформ в Арктике ..... 8

## ГТС ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

- Усачев И. Н.** Наплавной причально-ремонтный энергоблок из бетона особо высокой морозостойкости для портового комплекса Северного морского пути..... 12
- Дружинин А. И.** Опыт ФГБУ «Морспасслужба» в реализации проектов гидротехнического строительства ..... 16
- Дунчевская С. В., Видихин С. В., Большаков Е. Н., Дьяконов М. В., Иванов В. М., Попов Ю. Е.** Универсальная беспилотная платформа КАЛАН и гидрографический комплекс на ее основе..... 20
- Ковалев С. В.** Северо-Двинская шлюзованная система — уникальный объект внутренних водных путей России ..... 24

## ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

- Тетельмин В. В.** Энерго-климатическое будущее цивилизации и место в нем гидроэнергетики..... 27
- Иванченко И. П., Прокопенко А. Н.** Опыт борьбы с трещинообразованием лопастей радиально-осевых гидротурбин ..... 34
- Гондарев В. В.** Автоматизация мониторинга ГТС. Комплексный подход ..... 46
- Жевлаков А. А., Иванов В. М., Слива И. В.** О возможности завершения строительства Крапивинской ГЭС ..... 49
- Ульянова Е. И.** «ТЯЖМАШ-кафедра» — эффективная образовательная площадка подготовки квалифицированных кадров ..... 54

## ГТС СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

- Сольский С. В., Зеленский И. Г.** Актуальные конструктивные решения накопителей грунтовых материалов и отходов горно-обогатительных предприятий..... 56
- Мордвинов А. В.** Ликвидация токсичных промышленных отходов на полигоне «Красный Бор» ..... 62
- Голубев С. С., Коношенков А. А., Соколов М. Ю.** СП «Накопители жидких промышленных отходов» — предпосылки возникновения и задачи разработки ..... 65

## ТЕХНОЛОГИИ. МЕТОДЫ

- Ефимова Н. Н., Куликов А. И., Куликова Н. В.** Результаты специальных исследований грунтовой плотины ГЭС I класса, расположенной в суровых климатических условиях, с применением индикаторного метода..... 68
- Пассек Вад. В., Поз Г. М., Пассек Вяч. В., Воробьев С. С.** Тепловое влияние талых массивов, намывных способом гидромеханизации, на вечномёрзлые грунты. Методы оценки и пути защиты ..... 72
- Втюрин С. П.** Гидротехническое строительство — стратегический приоритет ГК «ЕКС» ..... 78
- Ашастин А. В.** Отечественный шпунт для гидротехнического строительства..... 80
- Ледина М. В.** Рекомендации по применению специальных бетонов при ремонте сооружений водного транспорта..... 82

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ СТАТЬЯ

УДК 622.242.42

DOI: 10.55326/22278400\_2022\_3\_2

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

М. В. Ковалев<sup>1</sup>, И. Л. Благовидова<sup>2</sup> ✉, А. С. Тертышникова<sup>3</sup>, Л. Б. Благовидов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> АО «ЦКБ Коралл», Севастополь, Россия, blagovidova@yandex.ru

**Аннотация.** Представлен концептуальный проект ледостойкой плавучей буровой установки, предназначенной для бурения разведочных и эксплуатационных скважин в особо сложных условиях глубоководного арктического шельфа. Установка имеет корпус клиновидной формы с ледокольным форштевнем, наклонными бортами и турельной системой удержания. Является самоходной установкой, оснащенной тремя выдвижными поворотными колонками с винтами регулируемого шага в насадках. Обозначены преимущества установки и направления дальнейшей работы над ее совершенствованием.

**Ключевые слова:** бурение в ледовых условиях, арктический шельф, системы удержания объекта на точке, защита райзера, ограничение флюгирования

**Для цитирования:** Ковалев М. В., Благовидова И. Л., Тертышникова А. С., Благовидов Л. Б. Особенности проектирования мобильной плавучей буровой установки для разведочного бурения в Арктической зоне РФ и Дальнего Востока // Гидротехника. 2022. № 3. С. 2–7.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL ARTICLE

## DESIGN FEATURES OF A FLOATING DRILLING RIG FOR EXPLORATION DRILLING IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIAN FEDERATION AND THE FAR EAST

M. V. Kovalev<sup>1</sup>, I. L. Blagovidova<sup>2</sup> ✉, A. S. Tertyshnikova<sup>3</sup>, L. B. Blagovidov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Korall CDB, Sevastopol, Russia, blagovidova@yandex.ru

**Abstract.** The article presents a concept design of an ice-resistant floating drilling rig for drilling exploratory and production wells in severe environmental conditions of the deep Arctic shelf. The FDR V-shaped hull has an icebreaking stem, sloped sides and an anchor system turret. The rig is a self-propelled unit equipped with three retractable rudder-propellers with nozzle CPPs. The article outlines advantages of such drilling unit and directions for further improvements.

**Keywords:** drilling in ice conditions, Arctic shelf, anchor mooring system, riser protection, feathering limitation

**For citation:** Kovalev M. V., Blagovidova I. L., Tertyshnikova A. S., Blagovidov L. B. Design features of a floating drilling rig for exploration drilling in the Arctic zone of Russian Federation and the Far East // Hydrotechnika. 2022. № 3. Pp. 2–7.

### Введение

Анализ условий арктических морей [1] показывает, что существенная часть перспективных арктических акваторий имеет значительные глубины (свыше 100 м). Большими глубинами отличаются Баренцево, Карское, Охотское моря и северная часть моря Лаптевых. При этом для морей Лап-

тевых и Карского характерен весьма короткий безледовый период (1,5–2 месяца) [2].

Разведочные работы на средних и больших глубинах в незамерзающих морях успешно выполняются с помощью СПБУ, ППБУ и буровых судов. Однако во многих арктических морях длительность навигационного

периода сравнима или меньше срока строительства разведочной скважины (в среднем около 60–90 сут.). В таком случае буровая установка должна обладать определенной ледостойкостью.

Разработка концепции буровой установки для обеспечения разведочного бурения на глубоководном шель-

фе с коротким навигационным периодом требует пристального внимания. На основании ряда предварительных расчетов и проработок установлено, что для плавучих установок с корпусом судового типа возможно обеспечение большей ледостойкости, по сравнению с плавучими полупогружными установками.

### Критичные вопросы применения буровых судов в ледовых условиях

При проектировании бурового судна для эксплуатации в условиях ледовых воздействий особое внимание следует уделить следующим вопросам:

- защите райзера от плавучих льдов;
- системе удержания на точке;
- ограничению флюгирования;
- системе аварийного отсоединения и повторного присоединения к системе удержания.

#### Защита райзера

Буровые суда не оснащаются специальными средствами защиты райзера от плавучих льдов, поскольку райзер проходит через буровую шахту в корпусе, и, соответственно, сам корпус служит пассивной защитой.

Снижению вероятности контакта ледовых обломков с райзером способствуют также:

- оптимизация формы корпуса для предотвращения попадания битого льда в зону буровой шахты и к райзеру;
- достаточно значительная осадка судна (как правило, более 12 м), препятствующая попаданию льда под корпус;
- наличие турели. На судах, оборудованных турелью, буровая шахта проходит внутри турельного узла. Турель может конструктивно выполняться выступающей ниже днища или иметь специальный затапливаемый отсек, опускающийся ниже днища судна, и в таком случае служить своеобразным дефлектором для обломков льда, попавших под днище судна.

Дополнительно может быть предусмотрена активная защита от попадания льда под корпус судна. Подруливающие устройства встречным потоком воды могут отталкивать обломки льда в сторону от корпуса судна. Однако эффективность такой

защиты ограничена расположением и направлениями действия подруливающих устройств, а также требует дополнительных затрат топлива на их работу. Против уже попавших под киль обломков льда такой способ неэффективен.

#### Системы удержания на точке

Назначение системы удержания на точке — ограничивать горизонтальные перемещения плавучего сооружения в заданных пределах при внешних воздействиях окружающей среды, а также обеспечивать активное или пассивное управление курсом сооружения в случаях, когда от его ориентации зависит его безопасность и правильность эксплуатации.

Ограничивающие критерии для пределов перемещения и ориентации сооружения устанавливаются на основании расчетных требований к обеспечению:

- удержания при внешних воздействиях окружающей среды;
- перемещений по вертикали и горизонтали, не превышающих ограничения от подводного устьевого оборудования;
- безопасности персонала;
- целостности и эксплуатационной надежности буровых райзеров и райзеров других типов;
- доступа к находящимся поблизости подводным и надводным установкам и расстояния, на которых они должны находиться;
- прочих особых требований к удержанию.

К внешним воздействиям обычно относят ветер, волнение, течение и ледовые нагрузки, оказывающие влияние на плавучее сооружение и элементы системы удержания и/или райзеры.

Удержание на точке обеспечивается одной из следующих систем:

- якорная система удержания (ЯСУ);
- система динамического позиционирования (DP), обеспечивающая удержание с помощью специально установленных движителей — средств активного управления;
- комбинированная система удержания — ЯСУ в сочетании с DP, когда средства активного управления могут

быть использованы для понижения натяжения в якорных связях и/или для управления курсом.

Существуют различные варианты организации якорных систем удержания. Для объектов судового типа, для которых, в отличие от ППБУ, критически важным является направление действия внешних нагрузок, наиболее целесообразно использовать турельную систему удержания. Основной особенностью такой системы является возможность свободного вращения («флюгирования») вокруг вертикальной оси верхней части турели, связанной с удерживаемым плавучим объектом, относительно нижней части, присоединенной к установленной на морском дне системе закоренения. Существует большое разнообразие конструкций турелей и вариантов их применения.

Расположение турели по длине корпуса оказывает определенное влияние на эффективность пассивного разворота судна при воздействии внешних нагрузок. С точки зрения самостоятельного разворота наилучшим вариантом является носовое расположение турели (как правило, в пределах 1/3 длины корпуса). Как показывают модельные испытания, смещение центра турели ближе к мидельшпангоуту приводит к снижению скорости разворота, увеличению восстанавливающей силы ЯСУ и росту амплитуды колебаний величины восстанавливающей силы.

По конструкции турели могут быть: встроенными в корпус сооружения и с отсоединяемым бумом. Основным отличием двух указанных вариантов исполнения турели является методика отсоединения ЯСУ. В случае встроенной в корпус турели каждая якорная связь должна быть отсоединена отдельно. У турели с отсоединяемым бумом якорные связи крепятся к бую. Буй после отсоединения погружается на глубину, исключая воздействие на него внешних гидрометеорологических факторов, включая подводную часть плавучих льдов и айсбергов. Каждый из рассматриваемых вариантов удержания бурового судна на точке имеет свои преимущества и недостатки.

К преимуществам системы динамического позиционирования можно отнести высокую мобильность (отсутствие затрат времени на развертывание/снятие системы), что упрощает процессы постановки судна на точку и аварийной эвакуации, в частности, не требуется привлечение дополнительных судов и подводных аппаратов. Среди недостатков следует отметить: более высокую стоимость; высокий расход топлива и, соответственно, низкую автономность судна и потребность в частом снабжении, что затруднительно в ледовых условиях.

Общими недостатками турельных систем удержания являются:

- длительное время и сложность развертывания системы, требующие привлечения дополнительных средств (судов и подводных аппаратов);

- высокая вероятность замерзания пространства как внутри турели, так и между ней и корпусом судна, что приведет к невозможности поворота судна вокруг оси турели. Эту проблему можно решить путем орошения теплой морской водой и с помощью постоянного подогрева механизмов для предотвращения образования льда.

К преимуществу турели с отсоединяемым бумом можно отнести быстрое соединение и отсоединение, не требующее привлечения дополнительных судов.

Окончательный выбор системы удержания бурового судна зависит от района его эксплуатации, величин и характера действующих на плавучее сооружение нагрузок, глубины моря в точке постановки, а также экономических факторов.

### Ограничение флюгирования

Ограничение угла поворота судна относительно заякоренной турели определяется возможностью применения типового подводно-устьевого оборудования (ПУО) и наиболее простого способа передачи электроэнергии на турель посредством размещаемых на поворотных траках кабельных трасс.

Типовое ПУО содержит в своем составе оборудование гидравлического управления с гибкими шлангами, связывающими оборудование, опускаемое на дно моря, с оборудованием на

борту судна. Несмотря на специальную подвеску гибких шлангов, данное оборудование неизбежно ограничивает поворот судна относительно неподвижной (установленной на дно) части ПУО. Тем не менее такое ПУО успешно применяется не только на установках с якорными системами удержания, но и предполагающими заметного поворота по курсовому углу, но и на буровых судах с динамическим позиционированием, целенаправленно ориентируемых носом навстречу внешним воздействиям. Рассмотрение опыта эксплуатации таких судов показывает, что необходимость согласования направления поворота судна с положением ПУО не является препятствием для их успешной работы.

### Системы аварийного отсоединения и повторного присоединения бурового судна

Безопасность буровых работ в Арктике в существенной степени зависит от возможности быстрого отсоединения бурового судна и отхода в порт-убежище при ухудшении ледовой обстановки.

Операции, выполняемые при аварийном отсоединении от устья скважины, и их продолжительность определяются этапом, на котором находится процесс строительства скважины, это может быть этап: бурения; спуско-подъемных операций с буровой колонной; сборки и спуска обсадной колонны; цементирования затрубного пространства; взятия керна и каротажного исследования и т. п.

Обобщенно аварийное отсоединение бурового судна можно разделить на две стадии, при выполнении которых задействовано принципиально различное оборудование: 1) отсоединение райзерной колонны от скважины; 2) отсоединение судна от якорных цепей (для судов, оснащенных якорной системой удержания).

1) Аварийное отсоединение райзерной колонны от скважины.

При возникновении необходимости срочного отсоединения и ухода судна в безопасный район после удаления из скважины бурового инструмента или другого оборудования закрываются плашечные превенторы,

и райзерная колонна вместе с нижним комплектом райзера отсоединяется от превенторной сборки.

После отсоединения нижнего комплекта райзера от превенторной сборки происходит подъем и поперечное разделение райзерной колонны, который достаточно длителен по времени (подъем и развинчивание 1 секции райзера (10 м) может занимать порядка 0,5–1 часа). В экстремальных случаях возможен подъем райзера на несколько метров над подводным противовыбросовым оборудованием, после чего судно может отойти в безопасный район, где процедура подъема райзера будет завершена в штатном режиме.

Превенторная сборка остается на дне моря до возвращения бурового судна для завершения прерванных операций (нижний фланец превенторной сборки соединен с верхним фланцем устьевого соединителя на донной плите).

2) Аварийное отсоединение судна от якорных связей.

После отсоединения и подъема на судно райзерной колонны и нижнего комплекта райзера выполняется операция разъединения якорных связей, для этого в составе каждой связи устанавливается специальный разъединитель.

Очень важно, чтобы при разъединении опускающиеся на дно звенья якорной цепи не повредили превенторную сборку. Поэтому при определении конструкции якорной линии необходимо учитывать длину цепи, остающуюся на якоре и опускающуюся на дно после срабатывания разъединителей, т. е. положение точки разъединения должно учитывать диаметр турели и габаритный размер превенторной сборки.

Остающаяся на дне после разъединения часть якорной цепи оснащена буйками, поддерживающими верхний конец цепи над грунтом.

Последовательность операций, выполняемых при повторной постановке на якоря бурового судна:

- поиск при помощи подводного аппарата и подъем на вспомогательное судно якорных связей, оставленных на дне;

- закрепление поднятой якорной связи на лебедке вспомогательного судна;
- соединение якорной цепи с турелью (с использованием подводного аппарата);
- восстановление соединения и проверка прочности зацепления турели к якорной цепи;
- установка якорных связей в штатное положение и отсоединение вспомогательной линии;
- штатное положение якорных связей бурового судна, уход вспомогательного судна.

Повторное соединение райзера и превенторной сборки, установленной на устье, выполняется после восстановления якорных связей.

Описанная процедура отсоединения якорных связей характерна для судов со встроенной в корпус турелью, через которую проходят якорные связи. Если турель имеет отсоединяемую часть (буй), якорные связи крепятся к бую, и при необходимости ухода судна с точки происходит отсоединение бую вместе с якорными связями и погружение его на заранее заданную глубину во избежание повреждения. Для повторного соединения с судном производится подъем бую (как правило, с использованием подводного аппарата) и закрепление его в турели. Таким образом, процесс отсоединения и повторного подсоединения якорной системы для турели с буюм занимает меньше времени и требует меньшего привлечения дополнительных средств (вспомогательных судов).

Следует, однако, отметить, что с точки зрения отсоединения и подъема райзера турельная система с отсоединяемым буюм накладывает определенные ограничения. Буй может быть отсоединен и затоплен только после полного подъема райзера из буровой шахты, которая проходит через турель и затапливаемый буй, в противном случае райзер будет поврежден при отсоединении бую.

Для системы с встроенной турелью такое ограничение нехарактерно, якорная система может быть отсоединена, и судно может уйти с точки до полного подъема райзера.



**Рисунок 1**  
Ледостойкая плавучая буровая установка

### Концептуальный проект ледостойкой плавучей буровой установки

На основании разностороннего анализа исходной информации и возможных ограничений специалистами ЦКБ «Коралл» выполнен концептуальный проект ледостойкой плавучей буровой установки (ЛПБУ), предназначенной для бурения разведочных и эксплуатационных скважин в особо сложных условиях глубоководного арктического шельфа РФ [3].

По конструктивному типу ЛПБУ представляет собой плавучую буровую установку с корпусом клиновидной формы с ледакольным форштевнем, наклонными бортами и турельной системой удержания. Общий вид установки представлен на **рис. 1**.

Корпус установки выполнен сходным с носовой оконечностью судна ледового плавания: наклон форштевня, заострение ватерлиний, развал шпангоутов соответствует рекомендациям Российского морского регистра судоходства, применяемым к судам ледового класса Arc7 [4].

Основные характеристики ЛПБУ: длина габаритная 111,90 м; ширина габаритная 80,7 м; высота борта 33,0 м; осадка по КВЛ (эксплуатационная при 100% запасов) 16,0 м; водоизмещение (осадка 16,0 м) 43 873 т; рабочая глубина воды 70–600 м; минимальная температура: рабочая минус 45 °С; отстой минус 50 °С; глубина бурения 8000 м. В проекте предусмотрено также определенное варьирование характеристик установки — увеличение рабочей глубины моря до 1000 м и длины скважины до 12 500 м.

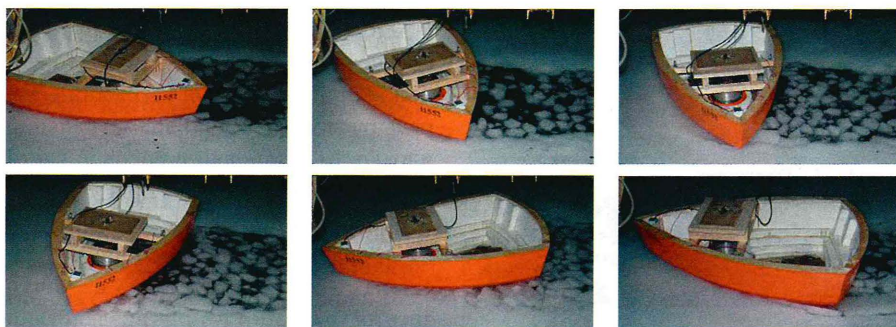
Срок автономной работы без пополнения запасов (судовых, технологических и расходных материалов на зимний период эксплуатации) составляет не менее 90 суток.

Стоянка ЛПБУ на точке бурения обеспечивается турельной 12-точечной якорной системой удержания. Турель располагается по диаметральной плоскости установки в носовой части корпуса и имеет шахту для прохода бурового оборудования.

Проверка работоспособности системы «корпус — турель» с точки зрения разворота при воздействии внешних нагрузок была выполнена на модельных испытаниях в волновом и ледовом опытовых бассейнах ФГУП «Крыловский государственный научный центр» [5], которые показали, что форма корпуса и возможность пассивного разворота ЛПБУ при любом направлении дрейфа льда (в том числе с борта и кормы установки) обеспечивают относительно небольшие по величине ледовые нагрузки. Экспериментально доказано, что величины глобальных ледовых нагрузок от воздействия ровного торосистого льда на ЛПБУ в 2–3 раза меньше, по сравнению с испытанными установками других конструктивных типов.

В рамках модельных испытаний было исследовано поведение заякоренной модели при воздействии внешних сил (ледового поля или волнения) с кормы и борта установки. Испытания проводились в ровных льдах различной толщины, при взаимодействии модели с торосами различной геометрии, а также в волновом бассейне — на волнении, соответствующем рабочим и экстремальным условиям. Проведенные эксперименты показали высокие маневренные качества исследованной модели. Установка за небольшой промежуток времени и без каких-либо затруднений разворачивалась носом навстречу ледовым полям, включая поле торосистого льда с толщиной консолидированного слоя 3,0 м (**рис. 2**).

В рамках модельных испытаний был также выполнен сравнительный анализ маневренных качеств ЛПБУ и турельного судна, в результате которого отмечено, что во льдах толщиной менее 2 м установка разворачивается заметно быстрее, чем турельное судно (ориентировочно вдвое быстрее). Это очень важный фактор, т. к. чем



**Рисунок 2**  
Последовательные этапы пассивного разворота ЛПБУ на 170°

быстрее установка займет положение, в котором глобальная ледовая нагрузка минимальна, тем меньше будет ее смещение относительно положения равновесия.

*Защита якорных линий и райзера.* Конструкция корпуса ЛПБУ и расположение турели в носовой части установки обеспечивают надежную защиту райзера, проходящего внутри турели, и якорных линий от воздействия ледовых образований. Как показали модельные испытания, при взаимодействии модели с полями ровного льда толщиной 1,5 м и 3,0 м разрушенный корпусом битый лед не попадает в зону крепления якорных связей системы удержания, таким образом, отсутствует угроза обрыва якорных связей из-за контакта с обломками битого льда.

*Ограничение флюгирования.* В проекте принято ограничение угла поворота ЛПБУ относительно заякоренной турели на величину 180° на каждый борт для возможности применения типового подводно-устьевого оборудования и наиболее простого способа передачи электроэнергии на турель посредством размещаемых на поворотных траках кабельных трасс.

*Система удержания.* В концептуальном проекте как основная для глубин моря от 70 до 600 м рассмотрена 12-точечная система удержания турельного типа с традиционными длинными провисающими связями и якорями высокой держащей силы, на которые не передается вертикальная нагрузка.

При постановке на разные глубины моря для обеспечения удержания ЛПБУ на точке эксплуатации состав якорных связей должен быть различен. Так, для глубин от 70 до 150 м не-

обходимы однородные цепные якорные связи (калибр цепи 137 мм), для глубин от 150 до 600 м — комбинированная тросово-цепная связь, состоящая из трех участков: верхний участок от клюзовой точки — стальная цепь калибром 137 мм; средний участок — стальной спиральный трос диаметром 124 мм; нижний участок у якоря — стальная цепь калибром 137 мм.

Дополнительно рассмотрена комбинированная система удержания ЛПБУ с совместной работой якорной системы и средств активного управления (выдвижных поворотных колонок). Выполненное сравнение параметров позиционирования комбинированной и только якорной систем удержания показало, что применение САУ несколько разгружает якорные связи, благодаря чему коэффициенты безопасности по действующим в них нагрузкам повышаются примерно на 5–14%.

*Системы отсоединения и подсоединения.* Турель ЛПБУ выполнена разъемной и включает в свой состав три основные части: верхнюю (стационарную) часть, промежуточную раму, нижнюю (отсоединяемую) часть. В случае необходимости ухода установки с точки эксплуатации производится отсоединение нижней части турели и ее погружение под действием заранее принятого балласта до заданной глубины (около 50 м). Время отсоединения буя от турели в аварийном режиме составляет не более 3 мин.

Для обеспечения погружения буя после отстыковки от турели и всплытия буя для стыковки с турелью ЛПБУ предусмотрена балластная система буя.

Следует отметить наличие определенных трудностей при балластировке ЛПБУ в случае экстренного отсо-

единения турели. Отсоединяемый буй имеет достаточно значительную массу, при этом полнота носовых обводов корпуса ЛПБУ не позволяет принять эквивалентное количество балласта.

Еще одной сложностью является аварийное отсоединение ЛПБУ от скважины — учитывая конструкцию турели, перед отсоединением буя райзер обязательно должен быть поднят и разобран.

*Мореходные качества.* ЛПБУ является самоходной установкой, оснащенной тремя выдвижными поворотными колонками с винтами регулируемого шага в насадках. Поворотные колонки обеспечивают необходимую скорость движения, маневренность на точке при отсоединении или присоединении разъемной части турели, а также содействие якорной системе удержания в экстренных случаях.

Скорость хода ЛПБУ в свободной ото льда тихой воде достигает ~10 узлов. При толщине льда 1,5 м ЛПБУ имеет устойчивую скорость ~1 узел.

Результаты испытаний в волновом бассейне показали, что параметры качки ЛПБУ в целом сравнимы с параметрами качки буровых судов. При расчетной высоте волны в рабочем режиме 6 м была отмечена достаточно значительная килевая качка ЛПБУ (порядка 9°). При этом оценки показали малую эффективность традиционных методов успокоения качки для конструкции ЛПБУ.

Однако следует отметить, что основной акцент при разработке ЛПБУ был сделан на обеспечении ледостойкости установки и продлении бурового сезона в морях с коротким навигационным периодом. В таких районах 75–90% времени безледового периода на акватории наблюдаются волны высотой до 4,0 м. При таких условиях параметры качки ЛПБУ находятся в допустимых пределах и не мешают производству буровых работ.

### Заключение

Разработанный концептуальный проект мобильной буровой установки для разведочного бурения благодаря его высоким ледостойким качествам перспективен для глубоководных участков арктиче-

ских морей с длительным ледовым периодом. Качественным отличием разработанного проекта ЛПБУ от буровых судов традиционной формы является повышение скорости пассивного разворота под воздействием ледовых полей. ЛПБУ за счет оптимизированной формы корпуса разворачивается ориентировочно вдвое быстрее, чем турельное буровое судно. Данный фактор

существенно снижает время воздействия значительных внешних нагрузок и, как следствие, смещение установки относительно проектного положения.

В процессе работ были выявлены узкие места концепции и намечены направления дальнейшей оптимизации конструкции. В частности — усовершенствование конструкции турели с точки зрения балластиров-

ки ЛПБУ и обеспечения аварийного отсоединения.

Реализация проекта ледостойкой плавучей буровой установки для разведочного бурения вместе с развитием смежных направлений создаст конструкторскую, производственную и технологическую базу для промышленной разработки нефтегазовых ресурсов шельфа Арктики и Дальнего Востока.

#### Список источников

1. Амосова Н.В., Благовидова И.Л., Тертышникова А.С., Иванова Н.С. Анализ исходных данных для проектирования морской буровой установки для разведочно-поискового бурения на Арктическом шельфе // Гидротехника. 2021. № 4. С. 70–72.
2. Жданев О.В., Фролов К. Н., Коныгин А.Е., Гехаев М.Р. Разведочное бурение на арктическом и дальневосточном шельфе России // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 112–125. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-112-125.
3. Патент РФ № 2013145192/11, 08.10.2013. Ледостойкая плавучая буровая установка для шельфа арктических морей // Патент России № 137539. 20.02.2014 Бюл. № 5 / Ковалев М.В., Кольченко Л.В., Мишин В.Б., Ажицев И.А., Мегрецкий К.В., Кашкатенко Г.В.
4. Blagovidov L., Blagovidova I., Kovalyov M., Kolchenko L. Ice-resistant turret-based mobile drilling unit with the wedge-shaped hull approximating ship form (wedge-shaped ship) // Proceedings of the ASME2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013, June 9–14, 2013, Nantes, France. OMAE2013-10721.
5. Kovalyov M., Blagovidova I., Kolchenko L., Dobrodeyev A., Sazonov K., Klementyeva N. Model testing of turret-based drill ship in ice conditions // Proceedings of the ASME2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013 June 9–14, 2013, Nantes, France. DETC2013-10632.

#### References

1. N. V. Amosova, I. L. Blagovidova, A. S. Tertyshnikova, N. S. Ivanova. Analysis of initial data for the design of an offshore drilling rig for exploratory drilling on the Arctic shelf // The Hydrotechnika 2021. № 4. Pp. 70–72.
2. O. V. Zhdaneev, K. N. Frolov, A. E. Konygin, M. R. Gekhaev. Exploration drilling on the Arctic and Far Eastern shelf of Russia // Arktika: Ecology and Economy. 2020. № 3 (39). pp. 112–125. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-112-125.
3. Russian Federation Patent № 2013145192/11, 08.10.2013. Ice-resistant floating drilling rig for the shelf of the Arctic seas // Patent of Russia № 137539. 20.02.2014 Bull. № 5 / M. V. Kovalev, L. V. Kolchenko, V. B. Mishin, I. A. Azhishchev, K. V. Megretsky, G. V. Kashkatenko.
4. Blagovidov L., Blagovidova I., Kovalyov M., Kolchenko L. Ice-resistant turret-based mobile drilling unit with the wedge-shaped hull approximating ship form (wedge-shaped ship) // Proceedings of the ASME2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013, June 9–14, 2013, Nantes, France. OMAE2013-10721.
5. Kovalyov M., Blagovidova I., Kolchenko L., Dobrodeyev A., Sazonov K., Klementyeva N. Model testing of turret-based drill ship in ice conditions // Proceedings of the ASME2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013 June 9–14, 2013, Nantes, France. DETC2013-10632.

#### Информация об авторах

**Максим Васильевич Ковалев** — заместитель генерального директора по проектированию, АО «ЦКБ «Коралл»  
**Ирина Леонидовна Благовидова** — зам. начальника общепроектного отдела, АО «ЦКБ «Коралл», доцент Севастопольского государственного университета. ORCID: 0000-0003-2340-9821. Author ID (SCOPUS): 55356037600  
**Александра Сергеевна Тертышникова** — начальник сектора АО «ЦКБ «Коралл»  
**Лев Борисович Благовидов** — к. т. н., ведущий конструктор, АО «ЦКБ Коралл». Author ID (SCOPUS): 6506598739

#### Information about the authors

**Maksim V. Kovalev** — Deputy General Director for Design, Korall Central Design  
**Irina L. Blagovidova** — Deputy Head of the General Design Department, Korall CDB, Associate Professor, Sevastopol State University. ORCID: 0000-0003-2340-9821. Author ID (SCOPUS): 55356037600  
**Alexandra S. Tertyshnikova** — Head of Sector, Korall CDB  
**Lev B. Blagovidov** — Ph.D in Engineering, Lead designer, Korall CDB. Author ID (SCOPUS): 6506598739

#### Информация о статье

Статья поступила в редакцию 12.08.2022; одобрена после рецензирования 24.08.2022; принята к публикации 26.08.2022.

#### Article info

The article was submitted 12.08.2022; approved after reviewing 24.08.2022; accepted for publication 26.08.2022.