

СУДОСТРОЕНИЕ

Издается с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

№ 4
2021
июль–август



ИННОВАЦИИ В СУДОСТРОЕНИИ





СТРОИМ ФЛОТ СИЛЬНОЙ СТРАНЫ



Издается с сентября 1898 г.
ISSN 0039-4580

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Александров М. В. — генеральный директор
АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»,
кандидат технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Александров Владимир Леонидович —
доктор технических наук, профессор
Антоненко Сергей Владимирович —
доктор технических наук, профессор
Бакулина Анна Александровна —
доктор экономических наук, доцент
Берестовицкий Эрлен Григорьевич —
доктор технических наук
Герасимов Николай Иванович —
доктор технических наук, старший научный сотрудник
Голосов Анатолий Иванович —
доктор технических наук, профессор
Горбач Владимир Дмитриевич —
доктор технических наук, профессор
Гурин Евгений Анатольевич —
доктор экономических наук, профессор
Дорофеев Владимир Юрьевич —
кандидат технических наук
Игалькин Александр Алексеевич —
доктор технических наук, профессор
Климовский Сергей Данилович —
кандидат исторических наук
Любимов Виктор Иванович —
доктор технических наук, профессор
Майоров Василий Семенович —
доктор технических наук
Михайлов Виктор Семенович —
доктор технических наук, профессор
Никитин Владимир Семенович —
доктор технических наук, профессор
Пешехонов Владимир Григорьевич —
доктор технических наук, профессор, академик РАН
Половинкин Валерий Николаевич —
доктор технических наук, профессор
Суздалев Игорь Владимирович —
доктор технических наук, профессор
Туричин Глеб Андреевич —
доктор технических наук, профессор
Шляхтенко Александр Васильевич —
доктор технических наук, профессор

ДИРЕКТОР РЕДАКЦИИ — ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Горелов В. В., тел. (812) 7860530, факс: (812) 7860459
e-mail: gorelovvv@sstc.spb.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Россия, 198095, Санкт-Петербург, Промышленная ул., 7

e-mail: inbox@sstc.spb.ru

www.sstc.spb.ru/publications

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ

АО «ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА»

www.sstc.spb.ru

© Журнал «Судостроение», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Рахманов А. Л. Инновационное судостроение — стратегическая задача государства	3
ГРАЖДАНСКОЕ СУДОСТРОЕНИЕ	
Орлов И. А. Строительство отечественных рыболовных судов нового поколения на примере судостроительного завода «Северная верфь»	7
Бахров М. В. Новые возможности для науки. Ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс»	11
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ И ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ	
Антушева С. В., Чертов А. Н., Ляшенко С. М. Речное пассажирское судно «Соталия» проекта 03850	14
Заборцев А. В., Пьянкова Е. Н., Кириллова М. Н., Першин П. В. Вспомогательные суда для обеспечения радиационной безопасности	17
Семенов Д. О., Соколов Р. В., Гурин Г. С., Рогова Л. А. Проект «Витязь»	22
Амосова Н. В., Благовидова И. Л., Иванова О. А., Иванова Н. С., Пьянов А. В., Тертышников А. С. Концептуальные проектные решения для погружной комбинированной буровой установки для круглогодичного бурения в арктических условиях	24
Амосова Н. В., Благовидова И. Л., Иванова О. А., Иванова Н. С., Пьянов А. В., Тертышников А. С. Погружная комбинированная буровая установка для круглогодичного бурения в арктических условиях	29
Руденко М. С., Степанов С. Н. Перспективное научно-экспедиционное судно для Арктики и Антарктики	34
ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ	
Катышев В. С., Першин М. Н. Внедрение производственной системы в ПАО «Завод «Красное Сормово»	36
Посадов Д. А., Котов М. В. О качестве рабочей конструкторской документации гражданских судов	41
Соловьёва Я. Ю. Аддитивные технологии в судостроении как механизм сокращения затрат и повышения качества выпускаемой продукции	43
Поздравляем!	46
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ	
Шляхтенко А. В., Захаров И. Г., Барановский В. В. Инновационные технические решения в области корабельной энергетики	48
Дорофеев В. Ю., Власов О. Г., Трапезников Ю. М. Электричество в море	53
Владимиров А. А., Макеев Г. А. Опыт и перспективы создания плавучих энергетических блоков для освоения и развития территорий Российского Севера и Дальнего Востока	56
ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА	
Логинов О. Г., Химаныч А. Б., Лычаков А. И. Проблемы оценки остаточного ресурса корабельных радиоэлектронных средств при ремонте и модернизации, пути их решения	61
Горячев М. В. Минимизация приращения погрешности компенсации остаточных составляющих индукции магнитного поля корабля в процессе эксплуатации	65
На Северной верфи начато строительство траулера	68
ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ	
Чайковская В. А. Балтийский завод — 165 лет инноваций	69
Коновалов А. В. Атомные ледоколы Балтийского завода: история и современность	74

SUDOSTROENIE
SHIPBUILDING**4•2021**
(857) July—August**CONTENTS**

Published since September 1898

A. L. Rakhmanov. Innovative shipbuilding as a strategic objective of the state CIVIL SHIPBUILDING	3
I.A.Orlov. Construction of new-generation fishing vessels as exemplified by Severnaya Verf shipyard	7
M. V. Bakhrov. Advanced features for the science: ice-resistant self-propelled platform «Severniiy polus»	11
DESIGN OF SHIPS AND MARINE EQUIPMENT	
S.V. Antusheva, A.N. Chertov, S. M. Lyashenko. River-going passenger vessel «Sotaliya»	14
A.V. Zabortsev, E.N. Piankova, M.N. Kirillova, P.V. Pershin Auxiliary vessels to ensure nuclear safety	17
D.O. Semenov, R.V. Sokolov, G. S. Gurin, L. A. Rogova. Project «Vityaz»	22
N.V. Amosova, I.L. Blagovidova, O. A. Ivanova, N. S. Ivanova, A. V. Pianov, A. S. Tertyshnikova. Concept design solutions for submersible drilling rig for all-year drilling in Arctic conditions	24
N.V. Amosova, I.L. Blagovidova, O. A. Ivanova, N. S. Ivanova, A. V. Pianov, A. S. Tertyshnikova. Submersible combination drilling rig for all-year drilling in arctic conditions	29
M.S. Rudenko, S.N. Stepanov. Advance research vessel for Arctic and Antarctic region	34
SHIPBUILDING ORGANIZATION AND TECHNOLOGY	
V.S. Katyshev, M.N. Pershin. Implementation of production system at JSC «Krasnoe Sormovo shipyard»	36
D.A. Posadov, M.V. Kotov. Quality of working design documents for civil vessels	41
Ya.Yu. Solovieva Additive technologies in shipbuilding: mechanism for cost-saving and product quality improvement Congratulations!	43
SHIP POWER PLANTS	
A.V. Schlyakhtenko, I.G. Zakharov, V.V. Baranovsky. Innovative technical solutions in field of shipboard power plants	48
V.Yu. Dorofeyev, O.G. Vlasov, Yu.M. Trapeznikov. Electric power at sea	53
A.A. Vladimirov, G.A. Makeev. Practice and prospects for construction of floating power plants for developing North and Far East regions of the Russian Federation	56
FLEET EXPLOITATION	
O.G. Loginov, A.B. Khimanych, A.I. Lychakov. Remaining life of electronic equipment upon repair and modernization: estimation issues and solutions	61
M.V. Goryachev. Minimization of compensation error increment of residual elements of ship field density upon operation	65
On «Severnaya verf» shipyard started construction of fishing trawler	68
HISTORY OF SHIPBUILDING	
V. A. Chaikovskaya. Baltic shipyard — 165 years of innovations	69
A. V. Kononov. Nuclear powered ice-breakers made by Baltic shipyard: history and today	74

Подписку на журнал можно осуществить по каталогам
ФГУП «Почта России».
ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС ЖУРНАЛА
«СУДОСТРОЕНИЕ» П2469

На 1-й стр. обложки — ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс» (фото АО «ОСК»); на 3-й стр. — перспективное научно-экспедиционное судно для Арктики и Антарктики НЭС 160 «Альбатрос» (ПАО «Невское ПКБ»)

Журнал включен в список ВАК по специальностям: 01.04.06 — Акустика (технические науки), 05.02.10 — Сварка, родственные процессы и технологии (технические науки), 05.08.04 — Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства (технические и экономические науки) и 05.08.05 — Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные) (технические науки)

Журнал внесен в базу данных RSCI, РИНЦ и ВИННИТИ РАН

Электронные версии журналов 1999—2021 гг. размещены на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www.elibrary.ru

Литературные редакторы
Е. П. Смирнова (ведущий номера),
С. В. Силикова

Компьютерная верстка
Г. А. Князева

Цветоделение Д. Н. Демичев

Перевод М. С. Паршин

Графика И. Б. Скородумова

За точность приведенных фактов, достоверность информации, а также использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, ответственность несут авторы

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели

При перепечатке ссылка на журнал «Судостроение» обязательна

Подписано в печать 10.06.2021 г.
Дата выхода в свет 31.08.2021 г.
Каталожная цена 300 руб.

Адрес издателя и типографии:
Россия, 198095, Санкт-Петербург,
Промышленная ул., 7, АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»

Тираж 1000 экз.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-70212

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОГРУЖНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Н. В. Амосова, главный инженер проекта, И. Л. Благовидова, зам. начальника отдела (e-mail: blagovidova@yandex.ru), О. А. Иванова, канд. техн. наук, Н. С. Иванова, А. В. Пьянов, А. С. Тертышникова (АО «ЦКБ «Коралл», Севастопольский государственный университет)

УДК 629.563.2(98)

CONCEPT DESIGN SOLUTIONS FOR SUBMERSIBLE DRILLING RIG FOR ALL-YEAR DRILLING IN ARCTIC CONDITIONS

N. V. Amosova, I. L. Blagovidova, O. A. Ivanova, N. S. Ivanova, A. V. Pianov, A. S. Tertyshnikova (JSC central design bureau «Corall», Sevastopol State University)

Создание оффшорных сооружений для обеспечения круглогодичного бурения в замерзающих акваториях арктического шельфа Российской Федерации является современной и актуальной проблемой. Актуальность ее обусловлена выполнением основных задач и направлений «Энергетической стратегии России на период до 2035 г.» и государственных программ по освоению арктических месторождений нефти и газа [1].

Первоочередная задача заключается в разработке концептуальных решений по морскому нефтегазовому сооружению, предназначенному для освоения арктического шельфа в режиме круглогодичного поисково-разведочного бурения, для возможности дальнейшей реализации проекта в постройке и эксплуатации.

Можно отметить, что в настоящее время при освоении шельфовых месторождений в РФ используются различные технологии, в том числе разработанные зарубежными компаниями. На российском шельфе Арктики накоплен определенный опыт создания сложных технических средств, предназначенных для освоения месторождений в районах с тяжелыми ледовыми условиями.

Авторами предложены способы обеспечения устойчивости при погружении и всплытии, способы транспортировки (постановка, снятие, перемещение между точками постановки) комбинированной буровой платформы гравитационного типа, адаптированной для круглогодичной эксплуатации в суровых арктических условиях.

Проектирование, строительство и эксплуатация морских буровых платформ на территории РФ регламентируются Российским морским регистром судоходства (РМРС). В

общем случае к сооружениям, находящимся на плаву, предъявляются требования, изложенные в Правилах классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ и Правилах разработки и проведения морских операций РМРС. В дополнение к этому при разработке морских операций могут учитываться рекомендации морских гарантийных сюрвейеров.

Кратковременные операции, выполняемые на заводской акватории, обычно защищенной от прямого воздействия волнения и ветра, к которым могут быть отнесены спуск на воду или вывод из дока, в прямом виде не являются поднадзорными операциями, а относятся к технологическим или внутривзводским.

Тем не менее для оценки принципиальной возможности всплытия и безопасности сооружения во временном состоянии должны быть определены параметры начальной устойчивости, включающие в себя посадку сооружения и начальную метацентрическую высоту, являющуюся универсальной характеристикой устойчивости. Величина метацентрической высоты зависит от положения центра тяжести сооружения, центра плавучести и момента инерции площади ватерлинии.

Буровые установки, предназначенные для поисково-разведочного бурения, должны обладать мобильностью — иметь возможность плавания/транспортировки в рассматриваемых регионах. Для арктических условий ограничительным фактором выступают проливы по трассе Северного морского пути — требуется, чтобы осадка буровой установки в транспортном положении не превышала 11 м. С другой

стороны, для обеспечения устойчивости в сложных климатических условиях они должны обладать достаточной прижимной нагрузкой.

Норвежская инженерно-строительная компания Kvaerner разработала концепцию железобетонной буровой установки «Condriil» с многоколонным основанием для бурения разведочных скважин на шельфе арктических морей на глубинах 20—60 м. Такой концепт позволяет расширить диапазон глубин применения разведочных буровых установок для арктических условий, однако имеет ряд существенных недостатков.

Постановка и снятие с точки осуществляются путем приема/откачки жидкого балласта. При этом особую важность приобретают вопросы, связанные с устойчивостью в процессе погружения на глубины свыше 50 м, так как метацентрическая высота при этом достигает критических значений. Для погружных буровых установок характерны высокое положение центра массы, резкие изменения размеров (длины и ширины) по высоте и соответственно площади ватерлинии. Несмотря на то, что такая операция (погружение) выполняется при ограничении гидрометеорологических, в первую очередь ветроволновых, условий для погружной буровой установки, может наблюдаться снижение устойчивости при входе опорной части в воду вследствие достаточно резкого уменьшения площади действующей ватерлинии. Аналогичные проблемы возникают при всплытии.

Согласно расчетным оценкам, при глубине моря 53 м величина исправленной метацентрической высоты будет составлять около 1,1 м, требуемая величина при погружении гравитационных сооружений на

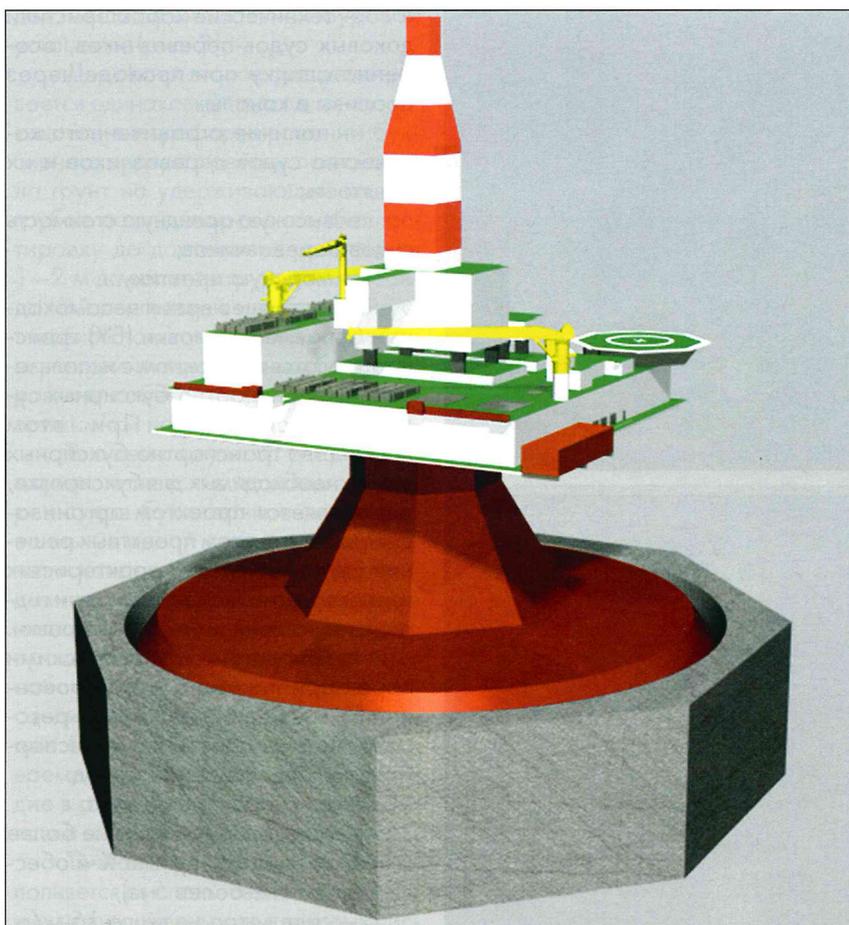


Рис. 1. Концепция комбинированной гравитационной буровой установки

дно не менее 1,0 м, однако в этом случае масса верхнего строения должна быть ограничена 20 000 т.

Учитывая значительную массу буровой установки (масса порожнем опорного основания составляет 259 000 т, масса порожнем верхнего строения — 18 000 т), транспортировка предусмотрена только на плаву. Буровая установка буксируется без крена и дифферента с ватерлинией, проходящей на уровне опорной плиты. При этом осадка при транспортировке составляет 17,9 м, что не позволит транспортировать ее по Северному морскому пути.

Предложенная авторами концепция комбинированной гравитационной буровой установки, представляющей собой сооружение, состоящее из ледостойкой металлической буровой платформы с конической наклонной поверхностью для лучшего восприятия ледовых нагрузок и кольцевой железобетонной водоизмещающей подставкой (рис. 1), позволяет решить проблемы, связанные с обеспечением устойчивости

при транспортировке и погружении/всплытии.

Предусматривается отдельная транспортировка и постановка на точку эксплуатации водоизмещающей металлической платформы и железобетонного основания.

С учетом вышеизложенного железобетонное основание принято симметричной формы, что позволяет осуществлять дифферентовку в любом направлении, а сама конструкция железобетонной подставки имеет низкий уровень ответственности и позволяет осуществлять всплытие с дифферентом, обеспечивающим всплытие одной из оконечностей, в то время как другая оконечность обеспечивает контакт с дном. Таким образом, в диапазоне рабочих глубин 20–60 м габаритные размеры железобетонной подставки гарантируют безопасность установки на дно и исключают возможность опрокидывания в процессе погружения, так как при любом сценарии сначала произойдет касание дна одной из оконечностей. Погру-

жение/всплытие с дифферентом будет обеспечивать положительную устойчивость на протяжении всего погружения.

При этом особое значение при операциях погружения/всплытия имеет порядок балластировки (заполнения балластных цистерн), который должен обеспечивать безопасное, с точки зрения устойчивости, погружение/всплытие буровой установки за счет понижения положения центра тяжести и обеспечения необходимой величины метацентрической высоты.

Погружение стальной водоизмещающей части комбинированной буровой платформы целесообразно осуществлять тоже с небольшим дифферентом, что позволит улучшить параметры устойчивости в процессе погружения и облегчить ее ориентирование на точке в момент касания подставки/грунта.

Разработанная концепция рассматриваемого гравитационного сооружения предполагает возможность отдельного всплытия и перевода в другое место. Так как железобетонная подставка не имеет собственного насосного отделения, то ее дебалластировка выполняется путем продувки отсеков с балластной водой сжатым воздухом, который подается с судна обеспечения. Балластная вода выдавливается за борт через специальные сливные клапаны.

Транспортировка на точку эксплуатации

Железобетонная подставка и стальная водоизмещающая буровая установка конструктивно выполнены так, что имеют положительную плавучесть и устойчивость и потому могут быть отбуксированы на точку строительства на плаву.

Буксировка и постановка на грунт железобетонной подставки и стальной водоизмещающей буровой установки могут проводиться по одинаковой схеме:

- формирование буксирного ордера для буксировки;
- смена буксирного ордера и буксировка на морском участке;
- позиционирование на точке перед погружением;
- погружение на грунт за счет принятия балласта в балластные цистерны.

В целом транспортировка крупногабаритных несамоходных объек-

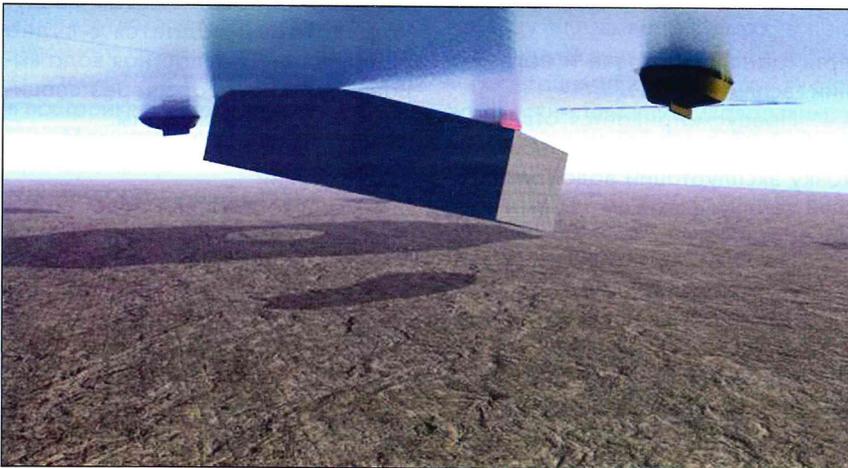
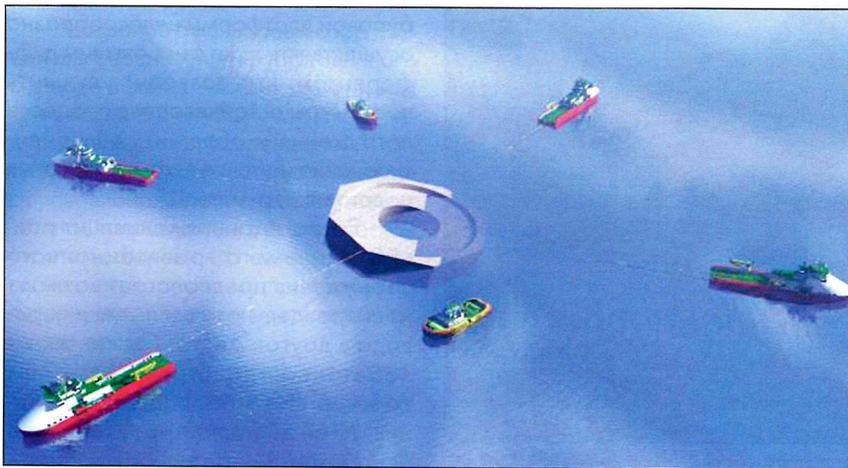
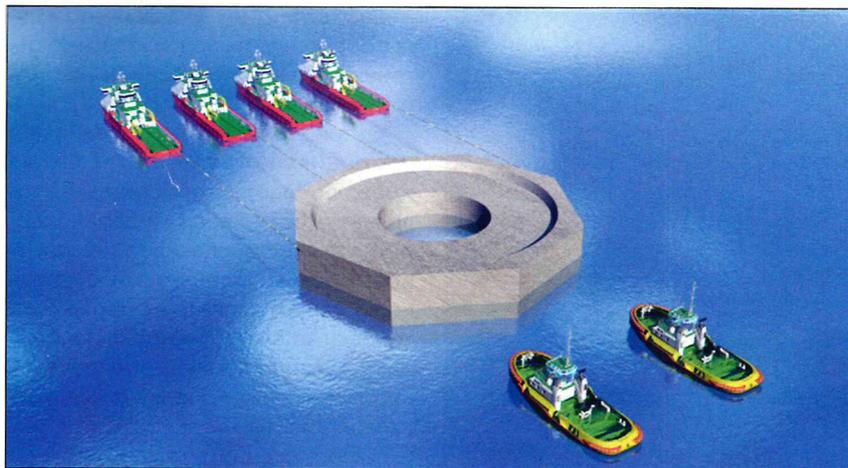


Рис. 2. Транспортировка и установка на грунт железобетонной подставки

тов может быть обеспечена следующими основными способами:

- «сухая» транспортировка с использованием доковых судов-перевозчиков;

- буксировка с использованием транспортно-буксирных судов.

Выбор способа транспортировки определяется экономической целесообразностью с учетом техни-

ческих характеристик сооружения, техническими и экономическими характеристиками судов-транспортников, текущими гидрометеорологическими условиями района транспортировки.

При выборе транспортировки буровой установки с помощью доковых судов-транспортников необходимо учитывать ряд обстоятельств:

- технические характеристики доковых судов-перевозчиков, особенно осадку при проходе через проливы и каналы;

- наличие ограниченного количества судов-перевозчиков и их занятость;

- высокую арендную стоимость судов-перевозчиков;

- морскую практику.

В настоящее время несамоходные буровые установки (БУ) транспортируются в основном с использованием транспортно-буксирных судов (буксировка). При этом количество транспортно-буксирных судов, необходимых для буксировки, определяется проектом организации работ с учетом проектных решений БУ, технических характеристик транспортно-буксирных судов и гидрометеорологических условий района буксировки.

Руководствуясь техническими характеристиками комбинированной БУ и морской практикой, рекомендуется осуществлять транспортировку в безледовый период:

- со скоростью 3—6 уз;

- при волнении моря не более 6 баллов (высота волны 3 %-й обеспеченности не более 5 м);

- силе ветра не выше 15 м/с.

Транспортировка, постановка/снятие и перемещение гравитационной БУ между точками бурения выполняются в соответствии с проектами организации морских работ, разработанными с учетом погодных и ледовых условий, технических характеристик БУ и привлекаемых судов.

При необходимости транспортировки и перемещения БУ между точками бурения в ледовый период требуется флот ледоусиленных транспортно-буксирных судов с ледокольным эскортом. Скорость буксировки во льдах не превышает 1—2 уз. Использование ледокольного судна обеспечит при необходимости транспортировку БУ в сплошном ровном льду толщиной до 0,2 м.

Совмещение и ориентация буровой установки при постановке/снятии

Морская операция по установке железобетонной подставки и водоизмещающей стальной буровой установки проводится в два этапа, первый из которых включает в себя постановку на дно железобетонной подставки (рис. 2), а второй этап — это установка непосредственно во-

доизмещающей стальной буровой установки (рис. 3).

Для обоих этапов предусматривается одинаковый подход, заключающийся в переформировании буксирного ордера в районе постановки на грунт на удерживающий ордер, грубое позиционирование, балластировку до достижения расстояния 1—2 м до касания грунта железобетонной подставкой или буровой установки подставки, точное позиционирование и окончательная балластировка для обеспечения необходимой прижимной нагрузки.

В обоих случаях удержание осуществляется с помощью четырех судов-буксировщиков, соединенных с одной стороны швартовными канатами с транспортировочными обухами на железобетонной подставке/буровой установке, а с противоположной — с помощью собственных буксирных канатов, соединенных через тросовые и цепные бридели с якорями, заблаговременно уложенными на морском дне в определенных местах вокруг точки постановки на грунт.

Точное позиционирование выполняется с использованием глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Укрупненная процедура установки сооружения на морское дно предполагает:

- замер фактических глубин в месте установки (для возможности оперативной корректировки процедуры балластировки);
- установку сооружения в район проектного положения для момента погружения;
- установку заякоренных судов-буксировщиков в дежурном режиме для удержания сооружения;
- обтяжку с помощью швартовных лебёдок системы раскрепления сооружения, включая якоря, швартовный трос;
- постепенное погружение его в воду путём затопления балластных отсеков забортной водой;
- удержание в заданном положении с помощью судов-буксировщиков, а при необходимости дополнительных буксиров-кантовщиков;
- слежение за погружением и установкой на дно с помощью глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Морскую операцию по поставке железобетонной подставки и

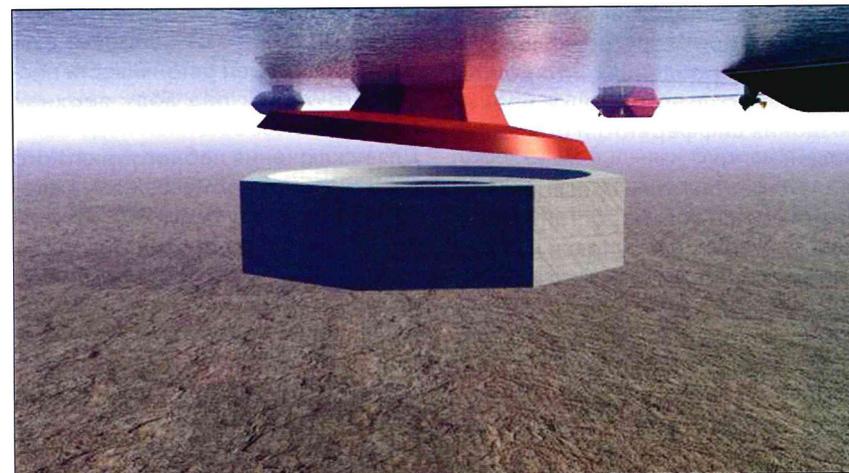


Рис. 3. Транспортировка и установка на грунт стальной буровой установки

буровой установки на точку эксплуатации следует проводить при получении трехсуточного благоприятного прогноза погоды.

Точность установки буровой платформы относительно железобетонной подставки должна находиться в пределах ± 1 м, что обеспечивает попадание в ловитель и установку буровой платформы в специальный ложемент.

Процедура снятия буровой установки и железобетонной подставки с грунта происходит в порядке, обратном установке на грунт.

Отсутствие адгезии в месте контакта буровой установки с основанием, поскольку железобетонная подставка полностью исключает возможность возникновения эффекта присоса между ними, благоприятно сказывается на про-

цессе всплытия и его контролируемости.

Всплытие буровой установки осуществляется путем постепенной откачки балласта и всплытия с созданием дифферента на одну из оконечностей.

Процесс всплытия железобетонной подставки менее прогнозируем по причине, во-первых, возможного появления эффекта присоса со стороны грунта, во-вторых, вследствие невозможности предварительной оценки количества налипшего на днище грунта и учета его в весовой нагрузке с последующей корректировкой процедуры дебалластировки.

Однако несмотря на это процесс неконтролируемого всплытия подставки не несет в себе больших рисков, так как осуществляется без непосредственного присутствия персонала на ней в процессе всплытия, а на самой подставке отсутствует какое-либо оборудование, чувствительное к большим углам наклона или ускорениям в процессе всплытия. Немаловажным здесь также является и тот факт, что подставка имеет одинаковые параметры остойчивости во всех направлениях, что делает ее универсальной с точки зрения создания дифферента и балластировки.

По результатам предварительных оценок (таблица) остойчивость железобетонной подставки и стальной водоизмещающей части комбинированной буровой платформы при буксировке соответствует требованиям «Правил классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ» [3] РМОС.

Результаты расчета посадки и остойчивости		
Параметры	Стальная платформа	Подставка
Габаритные размеры, м	110x110	125x125
Масса, т	Ок. 48 000	Ок. 120 000
Аппликата ЦМ, м	18,4	15,2
Осадка при буксировке, м	5,2	7,0
Начальная метацентрическая высота, м	155,2	190,0

Ограничения по глубине применения

Ограничения по глубине применения связаны, в первую очередь, с габаритной осадкой и размерами, а также со способом постановки железобетонной подставки.

При постановке на точку необходимо учитывать, что минимальная глубина моря должна гарантированно обеспечить отсутствие взаимодействия подставки с ледовыми образованиями, а также, по возможности, свести к минимуму волновое воздействие на нее.

На ограничение максимальной глубины моря значительное влияние оказывают вопросы, связанные с потерей остойчивости после погружения под воду верхней палубы железобетонной подставки. Для исключения неблагоприятного воздействия в процессе возможного неконтролируемого погружения железобетонная подставка должна погружаться либо с дифферентом, обеспечивающим положительную величину метацентрической высоты в момент касания грунта одной из оконечностей, либо дополнительно поддерживаться извне, например с помощью плавучего крана, однако, принимая во внимание мас-

согабаритные характеристики такой железобетонной подставки, обеспечение положительной остойчивости за счет плавучего крана выглядит достаточно проблематично.

Выбранные габаритные размеры позволяют погружать подставку с созданием дифферента около 14° на глубину 60 м, при этом обеспечивают устойчивость буровой установки и подставки при воздействии экстремальных внешних нагрузок (рис. 4).

Заключение

На основании выполненных проработок и анализа применимости рассматриваемой комбинированной буровой установки для круглогодичного бурения в условиях Арктики можно отметить следующее: концептуальный проект предусматривает разведочное бурение на глубинах до 60 м за счет применения железобетонной подставки. Принятые архитектурно-конструктивные решения позволяют осуществлять транспортировку и постановку, а также снятие рассматриваемой буровой установки с точки бурения, что особенно актуально при проведении поисково-разведочных работ.

На конструкцию представленной в работе комбинированной буровой установки для освоения континентального шельфа в арктических условиях АО «ЦКБ «Коралл» в 2020 г. получен патент на изобретение [2].

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р.
2. Пат. 2 745 457 РФ, МПК E02B 17/00 (2006.01). Морское гравитационное сооружение для арктических условий: N 2020127130: заявл. 12.02.2020: опубликовано 25.03.2021 /Амосова Н. В., Благовидова И. Л., Коньгин А. Е., Ленский В. Ф., Пьянов А. В.; патентообладатель — АО «ЦКБ «Коралл».
3. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ: НД № 2-020201-015/РС. СПб., 2018.
4. Правила разработки и проведения морских операций: НД № 2-090601-006 / РС. СПб., 2017 (актуализация 01.01.2021 г.).

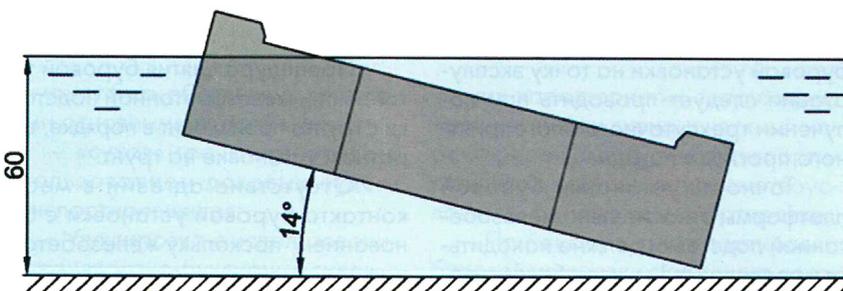


Рис. 4. Схема погружения подставки

ПОГРУЖНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ БУРОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КРУГЛОГОДИЧНОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Н. В. Амосова, главный инженер проекта, И. Л. Благовидова, зам. начальника отдела (e-mail:blagovidova@yandex.ru), О. А. Иванова, канд. техн. наук, Н. С. Иванова, А. В. Пьянов, А. С. Тертышникова (АО «ЦКБ «Коралл», Севастопольский государственный университет)

УДК 629.563.2(98)

SUBMERSIBLE COMBINATION DRILLING RIG FOR ALL-YEAR DRILLING IN ARCTIC CONDITIONS

N. V. Amosova, I. L. Blagovidova, O. A. Ivanova, Candidate of Engineering science, N. S. Ivanova, A. V. Pianov, A. S. Tertyshnikova (JSC central bureau «Corall», Sevastopol State University)

В настоящее время накоплен определенный опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений для арктических условий, и при этом поиск новых концепций буровых установок в арктическом исполнении ведется постоянно.

До недавнего времени для бурения разведочных и эксплуатационных скважин на арктическом шельфе России применялись стационарные и плавучие буровые установки (СПБУ, ППБУ) и буровые суда, которые работали только в период «чистой» воды, т. е. в безледовый период. Современное проектирование и строительство морских ледостойких буровых установок на шельфе замерзающих морей России идет в следующих направлениях:

- создание добычных гравитационных буровых установок с опорным блоком из железобетона (платформы «Беркут», «Пильтун-Астохская—Б» и «Лунская—А») и стальным опорным блоком (платформа «Приразломная»);

- создание добычных свайных платформ для освоения месторождений Северного Каспия (платформы для месторождений им. Ю. Корчагина, им. В. Филановского и им. В. И. Грайфера);

- создание ППБУ с усиленным ледовым корпусом (платформы «Полярная звезда» и «Северное сияние») для возможности бурения в «легких» ледовых условиях.

Таким образом, вопрос о проектировании и строительстве мобильных технических средств для обеспечения бурения в ледовых условиях остается открытым и требует своего решения.

Архитектурно-конструктивные решения

В целом выбор принципиальных типов объектов обустройства и

эксплуатации нефтегазовых месторождений шельфа зависит от глубины моря и ледовых условий.

Комплексный анализ лицензионных участков (ЛУ) в Арктике и на Дальнем Востоке, включая нераспределенный лицензионный фонд, показал следующее распределение площади и глубин [1]:

1. Площадь ЛУ Баренцевого и Карского морей 673 тыс. км², исключая Печорское море и Обскую и Тазовскую губы, на ЛУ преобладают глубины более 60 м — 78 %; Печорское море, Обская и Тазовская губы, наоборот, относительно мелководны, площадь ЛУ на глубинах до 60 м составляет 84 %.

2. На шельфе морей Восточной Арктики площадь ЛУ составляет 776 тыс. км². Глубины от 0 до 40 м — 23 %, от 40 до 60 м — 45 %, от 60 м — 32 %.

3. В пределах морей Дальнего Востока общая площадь ЛУ состав-

ляет 207 тыс. км², 84 % из которых находятся на глубинах более 80 м.

Эффективность развития шельфа российского сектора Арктики в значимой мере зависит от возможности расширения диапазона глубин и сезона поисково-разведочного бурения в ледовых условиях [2].

Одними из первых мобильных решений для разведочного бурения в сложных климатических условиях были погружные буровые установки для шельфа Канады: SSSC, «Molikpaq», «Glomar Beaufort sea I». Особенность их применения — установка на относительно небольших глубинах моря — до 20 м. Для таких глубин в России накоплен опыт проектирования, строительства и эксплуатации стационарных свайных платформ для эксплуатационного бурения и существуют концептуальные проекты мобильных буровых установок для разведочного бурения в суровых арктических условиях [3], [4].

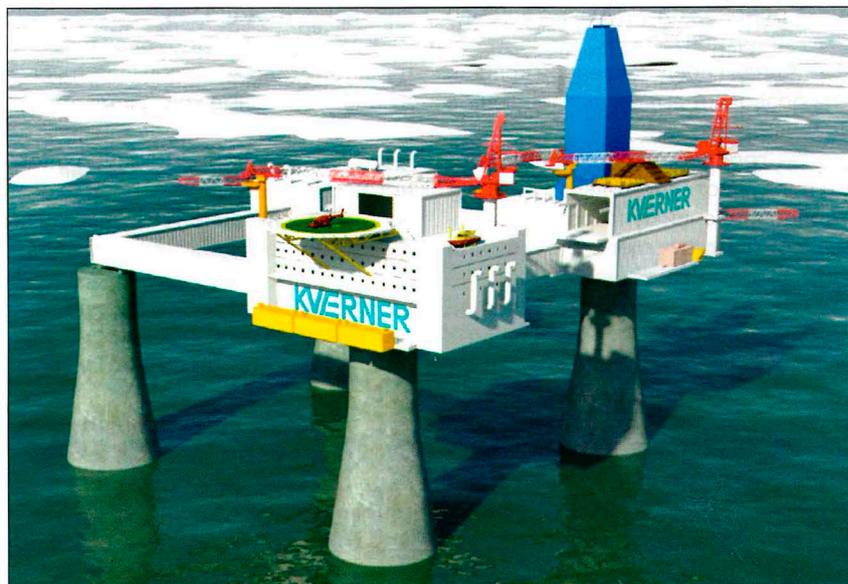


Рис. 1. Общий вид платформы «Condrill» фирмы Kverner



Рис. 2. Вариант комбинированной буровой установки

В то же время стоит отметить, что вопросы, связанные с проведением поисково-разведочного бурения в ледовых условиях, а также с расширением диапазона глубин эксплуатационного бурения в ледовых условиях, стоят всё так же остро.

Норвежская компания Kvaerner разработала концепцию морской передвижной буровой установки с многоколонным основанием для разведочного бурения для арктических условий «CondriII» (рис. 1). Платформа может обеспечивать круглогодичное бурение и испытание скважин в районах арктического шельфа с глубинами 20–60 м.

Анализ представленной концепции позволяет выделить следующие ее недостатки:

- транспортировка платформы предусмотрена только на плаву, в сопровождении буксиров и ледоколов соответствующего класса, при этом транспортная осадка составляет около 21 м, что делает затруднительным буксировку в стесненных условиях и на мелководье;

- постановка и снятие с точки осуществляются путем приема/откачки жидкого балласта, что, учитывая необходимость перекачки значительных объемов, занимает достаточно длительное время;

- вопросы постановки и снятия на больших глубинах (более 50 м) требуют дополнительного анализа

с точки зрения обеспечения устойчивости;

- при установке на относительно малые глубины (20–30 м) палуба верхнего строения будет находиться на высоте порядка 55–65 м над уровнем моря. В таких условиях эвакуация персонала, особенно в ледовых условиях, крайне затруднена. Ветровые воздействия на такой высоте бывают значительными, что негативно скажется на условиях обитаемости. Кроме того, определенные затруднения возникнут при организации доставки технологических и прочих запасов.

Для буровых установок гравитационного типа можно выделить следующие основные критичные вопросы и задачи проектирования:

- выбор формы корпуса опорного основания;

- обеспечение устойчивости на грунте под воздействием внешних нагрузок;

- обеспечение устойчивости при погружении и всплытии;

- контролируемый отрыв от грунта;

- способы транспортировки буровой установки (постановка, снятие, перемещение между точками постановки).

Таким образом, на выбор формы и габаритных размеров корпуса влияет ряд противоречивых факторов, и поиск оптимального решения

является достаточно сложной задачей.

Предлагаемая буровая установка (БУ) предназначена для выполнения круглогодичного поисково-разведочного бурения в акваториях с коротким безледовым сезоном или неполным очищением ото льда.

Новым конструктивным решением является применение комбинированного сооружения, состоящего из водоизмещающей ледостойкой металлической буровой платформы и железобетонной водоизмещающей подставки, позволяющей расширить диапазон эксплуатационных глубин буровой установки (рис. 2) [5].

При определении конструктивного типа и габаритных размеров комбинированной погружной буровой установки учитывались следующие основные аспекты:

- достаточность пространства для размещения необходимого оборудования;

- минимизация ледовых нагрузок;

- обеспечение устойчивости на грунте при воздействии внешних нагрузок;

- достаточность величины вертикального клиренса для исключения ударов волн и воздействия ледовых обломков на конструкции верхней палубы.

С точки зрения восприятия ледовых нагрузок наиболее оптимальна симметричная в плане (круглая или многоугольная) форма с наклонными в районе воздействия льда бортами и дефлектором на уровне верхней палубы опорного основания, который служит для защиты установленного на палубе оборудования от ударов волн и попадания ледовых обломков.

В качестве прототипа стальной платформы принято опорное основание СМЛОП «Варандей» (рис. 3), многолетняя успешная эксплуатация которого доказывает применимость такого типа основания для использования в сложных ледовых условиях арктического шельфа РФ.

Опорное основание СМЛОП имеет форму восьмигранного в плане монопода. В районе переменной ватерлинии и зоны воздействия льда установлена конусная часть высотой 12 м с углом наклона образующих 56°, что обеспечивает равен-



Рис. 3. Общий вид СМЛОП «Варандей»

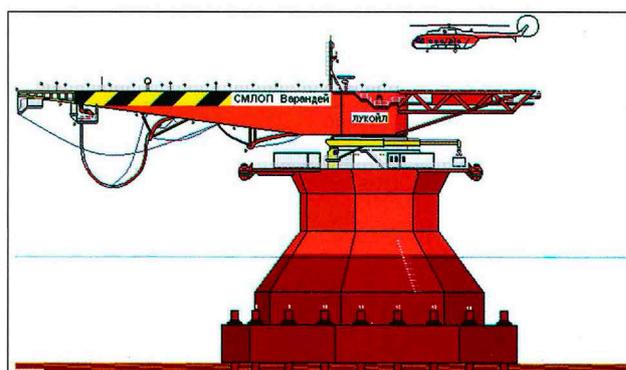


Рис. 4. Улавливающая конструкция стальной платформы

ство волновых и ледовых нагрузок и оптимальные весовые характеристики. Восьмигранная форма опорного основания позволяет выдерживать максимально высокую ледовую нагрузку (толщина консолидированного слоя тороса 2,9 м).

Форма основания предлагаемой стальной платформы имеет следующие особенности:

- симметрична во всех направлениях, что обеспечивает одинаковый уровень внешних воздействий вне зависимости от направления действующих нагрузок;

- в районе действующей ватерлинии наружные стенки имеют наклон, который позволяет снизить горизонтальную нагрузку от воздействия ледовых образований вследствие изменения характера их разрушения;

- корпус в районе действующей ватерлинии имеет малую площадь и правильную форму, что также способствует снижению общего уровня внешних нагрузок;

- в отличие от ватерлинии в рабочем состоянии днище имеет большую площадь, обеспечивающую равномерное распределение нагрузок от веса сооружения и внешних нагрузок на железобетонную подставку и позволяет создать достаточные удерживающие силы;

- для обеспечения соосности стальной платформы и железобетонного основания при установке на дно используется система, состоящая из направляющего конуса, конструктивно принадлежащего железобетонному основанию, и ответной улавливающей конструкции стальной платформы (рис. 4). При этом угол между улавливающей конструкцией и направляющим конусом выбран из условия исключения заклинивания с учетом коэффици-

ента трения между поверхностями контакта [5].

Стальная водоизмещающая платформа представляет собой самостоятельную часть комплекса и обеспечивается всем необходимым для функционирования в заданный период автономности на глубинах до 25–30 м. Кроме того, водоизмещающая стальная платформа обладает собственной плавучестью, позволяющей выполнять ее буксировку на плаву с установленным верхним строением.

При необходимости использования на относительно малых глубинах водоизмещающая стальная буровая установка рассматривается как отдельно функционирующая погружная платформа. Таким образом, предлагаемая буровая установка имеет преимущество перед концепцией платформы «Condriil» в части оптимальной высоты расположения верхней палубы относительно уровня моря при любых рассматриваемых глубинах моря в точке постановки.

Основные требования, предъявляемые к подставке:

- важнейшее условие безопасной эксплуатации платформы — ее устойчивое положение на грунте, в том числе при воздействии экстремальных гидрометеороусловий;

- сведение габаритных размеров к минимально возможным с соответствующим снижением массовых характеристик, но при обязательном обеспечении устойчивого положения буровой установки на грунте;

- размеры подставки не должны затруднять обеспечение ее устойчивости в процессе погружения на дно;
- подставка должна иметь достаточную площадь дна, чтобы отсутствовала опасность опрокидывания и проседания комплекса в грунт.

Наиболее предпочтительный вариант материала для изготовления такой подставки — железобетон, обеспечивающий большую прижимную нагрузку благодаря высокой массе, что в данном случае является положительным фактором, так как стальные конструкции для устойчивости на грунте часто приходится «пригружать» с помощью твердого балласта в виде песка, бетона или даже железорудного концентрата.

Конструктивно подставка представляет собой объемную, восьмиугольную в плане конструкцию с вырезом во внутренней части, обеспечивающим прохождение буровой колонны и установку подводного устьевого оборудования в случае необходимости (табл. 1). Внутренние

Таблица 1

Основные характеристики буровой установки и подставки

Характеристика	БУ	Подставка
Диапазон рабочих глубин, м	От 8–10 до 25–30	До 60
Материал корпуса	Сталь	Железобетон
Габаритные размеры, м	110x110	125x125
Масса, т	Ок. 48 000	Ок. 120 000
Высота подставки, м	—	30

Таблица 2

Характеристики плавучести и принимаемой нагрузки		
Характеристика	БУ	Подставка
Вес, МН	480	1200
Вес жидкого балласта, МН	~1000	~2000
Вес при стоянке на грунте с жидким балластом, МН	Ок. 1480	Ок. 3200
Сила плавучести, МН	1200	2400
Прижимная сила, МН	280	800
Площадь опирания, м ²	9500	7500
Удельная нагрузка на грунт, кПа	30	110

объемы разбиты на прямостенные отсеки, в которые при погружении принимается забортная вода.

Расчетные оценки допустимых характеристик грунта

Выполнение БУ разведочного бурения предполагает возможность ее постановки на грунты с различными характеристиками. Тем не менее для платформ гравитационного типа, удерживающихся на грунте только лишь за счет сил от собственного веса, вопрос минимально допустимых характеристик грунта, обеспечивающих безопасную длительную стоянку, является одним из важнейших.

Общий подход определения минимально допустимых характеристик грунтового основания заключается в расчете максимальной нагрузки на грунт с учетом воздействия экстремальных внешних условий и далее определении параметров грунтового основания, при которых не наступает его разрушения.

При эксплуатации комбинированной буровой установки в комплексе с подставкой, расширяющей диапазон глубин, устойчивость против сдвига всей конструкции вместе с верхним строением в большей степени обеспечивается за счет силы веса подставки, непосредственно опирающейся на грунт, а прижимная нагрузка буровой установки должна

обеспечивать ее устойчивость против опрокидывания.

Авторами была выполнена оценка минимально допустимых параметров грунтов при постановке на грунт водоизмещающей стальной буровой установки как отдельно функционирующей платформы, так и для комбинированного варианта ее эксплуатации, т. е. вместе с железобетонной подставкой (табл. 2).

Напряжения по контакту днища с грунтовым основанием с учетом действия опрокидывающего момента, определены по формуле [6]

$$\sigma_m = \frac{N}{A_s} + \frac{M_y}{W},$$

где σ_m — напряжения по контакту днища с грунтовым основанием, кПа; N — сумма вертикальных сил, действующих на платформу, кН; A_s — площадь днища платформы, м²; M_y — суммарный момент от опрокидывающих (горизонтальных) сил относительно переднего ребра вращения, кН·м; W — момент сопротивления площади днища, м³.

Для определения максимальных напряжений по контакту днища, возможных в процессе эксплуатации, принят диапазон расчетных го-

ризонтальных нагрузок от 80 до 140 МН (табл. 3).

Предельная несущая способность песчаного грунта приближенно может быть определена по формуле [7]

$$q_{пр} = \frac{1}{2} N_\gamma \gamma_B B,$$

где N_γ — коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения; γ_B — удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды, кН/м³; B — характерный размер основания в плане, м.

Предельная несущая способность глинистого грунта приближенно может быть определена по формуле [7]

$$q_{пр} = 5,1c,$$

где c — сцепление, кПа.

Для супесчаных и суглинистых грунтов формула примет вид [7]

$$q_{пр} = N_c c + \frac{1}{2} N_\gamma \gamma_B B,$$

где N_c — коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения.

Результаты расчетов показали, что для возможности воспринимать нагрузки от силы веса сооружения в сочетании с дополнительными нагрузками от гидрометеословий грунты основания должны обладать физико-механическими свойствами, не ниже указанных в табл. 4 для варианта эксплуатации буровой установки без железобетонной подставки.

Параметры грунтов, полученные в результате расчетов для постановки на грунт комбинированной буровой установки, приведены в табл. 5.

Принимая во внимание приближенный характер формул, полученные значения должны применяться с коэффициентом запаса не менее 2,0.

При наличии на месторождении грунтовых условий, хуже ука-

Таблица 3

Давление на грунт		
Горизонтальная нагрузка, МН	Напряжения по контакту днища, кПа	
	БУ	Подставка
80	42	133
110	46	142
140	50	150

Таблица 4

Минимальные параметры грунта (8–30 м)		
Тип грунта	ϕ , град.	c , кПа
Песчаный	> 22	≥ 0
Глинистый	≥ 0	≥ 59
Супеси и суглинки	> 20	≥ 10

занных в табл. 4 (для глубин 8—30 м) и табл. 5 (для глубин 30—60 м), может быть рассмотрен вариант применения «юбок» и инженерной подготовки грунтового основания, заключающийся в замене верхнего слоя грунта, или вариант установки с заглублением в предварительно подготовленный котлован, а также обвалование камнем и другие мероприятия.

Заключение

Комбинированный вариант буровой установки — железобетонная подставка и водоизмещающая стальная платформа — можно рассматривать в качестве перспективной концепции. Данная концепция содержит проверенные решения в части стальной платформы, позволяющей

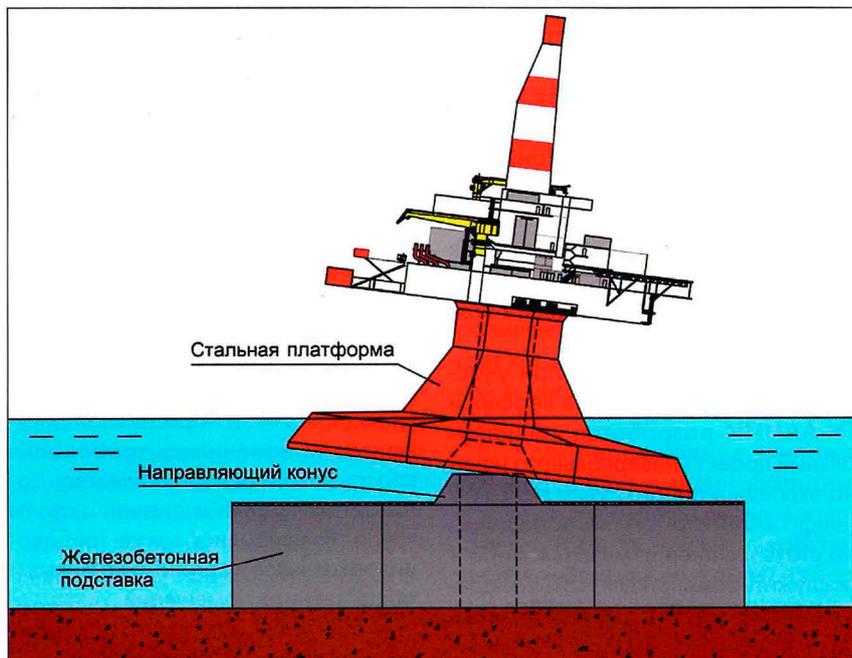


Рис. 4. Схема установки на точку бурения комбинированной буровой установки

самостоятельно проводить буровые работы на глубинах моря от 8—10 до 25—30 м. Железобетонная подставка позволяет увеличить диапазон глубин до 60 м.

Водоизмещающая стальная платформа и железобетонная подставка могут быть оперативно переставлены на новое место эксплуатации, что имеет особую актуальность при проведении разведочного бурения. Также перспективно применение предлагаемого комплекса для эксплуатационного бурения на месторождениях с непродолжительным периодом освоения (небольшими запасами углеводородов / не-

большим количеством скважин — от одной до четырех).

Выбранные габаритные размеры позволяют обеспечить устойчивость как самостоятельно устанавливаемой стальной водоизмещающей платформы, так и комплекса стальной буровой с подставкой при воздействии ледовых нагрузок, соответствующих круглогодичной эксплуатации при расчетных минимально допустимых характеристиках грунта.

Перспектива дальнейших исследований заключается в разработке комплекса архитектурных решений для использования представленного комбинированного морского

Таблица 5

Результаты расчета параметров грунта				
Горизонтальная нагрузка, МН	Минимально допустимые характеристики грунтового основания			
	БУ		Подставка	
	φ, град.	с, кПа	φ, град.	с, кПа
Песчаные грунты				
80	16	—	—	—
110	17	—	> 22	—
140	18	—	—	—
Супеси и суглинки				
80	>15	0	—	8
110	—	2	>20	9
140	—	3	—	10
Глинистые грунты				
80	—	16	—	52
110	—	18	—	56
140	—	20	—	59

гравитационного сооружения в арктических условиях для поисково-разведочного и последующего эксплуатационного бурения с применением стальной водоизмещающей платформы. Железобетонная подставка может служить для размещения подводно-добычного комплекса, при этом она будет выполнять функции защитной конструкции при падении крупных предметов сверху или крупнообломочного грунта, переносимого с ледовыми образованиями.

Литература

1. Аналитические материалы ЦКТР ТЭК ФГБУ «РЭА» Минэнерго России.
2. Мусабинова А. А. Разработка и исследование применимости новой конструкции ледостойких платформ на мелководном арктическом шельфе: дисс. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2013.
3. Крыженич Г. Б. Концептуальные решения для ледостойких плавучих буровых установок, обеспечивающие круглогодичную эксплуатацию в Арктике // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 3—3 (37).
4. Жданев О. В., Фролов К. Н., Конигин А. Е., Техаев М. Р. Разведочное бурение на арктическом и дальневосточном шельфе России // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39).
5. Пат. 2 745 457 РФ, МПК E02B 17/00 (2006.01). Морское гравитационное сооружение для арктических условий: N 2020127130: заявл. 12.02.2020: опубликовано 25.03.2021 / Амосова Н. В., Благодидова И. Л., Конигин А. Е., Ленский В. Ф., Пянов А. В.; патентообладатель—АО «ЦКБ «Коралл».
6. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений: учеб. для гидротехн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985.
7. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа / Пер. с англ. Л.: Судостроение, 1986 (Техника освоения океана) // Пер. изд.: Englewood Cliffs, USA, 1983).