

ДРУГИЕ ВОПРОСЫ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.563.2+622.242.4
EDN: WUYNMY

К.А. Савченков¹, С.В. Вербицкий¹, А.В. Лобанов²

¹ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

² ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия

МОБИЛЬНЫЕ ЛЕДОСТОЙКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ. ОБЗОР МИРОВОГО ОПЫТА

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются мобильные ледостойкие буровые установки (МЛБУ). Цель работы заключается в освещении отечественного и иностранного опыта в создании МЛБУ на примере характерных проектов и оценке возможностей использования таких установок на российском шельфе.

Материалы и методы. Российский арктический шельф по природно-климатическим условиям схож с шельфами США, Канады и Норвегии. Эти страны достигли определенных успехов в создании мобильных ледостойких буровых установок, поэтому при написании работы использовался метод аналитического исследования и обобщения мирового опыта в создании МЛБУ преимущественно этими странами. Используются материалы классификационных обществ, результаты исследований зарубежных и отечественных ученых, конструкторов и аналитиков в области освоения арктического шельфа.

Основные результаты. Анализ материалов, посвященных созданию буровых установок для арктического шельфа и освоения Арктики в целом, позволил сформировать оценку возможностей освоения ресурсов северных морей с использованием мобильных ледостойких буровых установок. Описаны перспективы Обской и Тазовской губ в области добычи углеводородов, сформулированы сложности освоения этого региона России и специфика погодно-климатических условий. Проведена условная классификация мобильных ледостойких буровых установок. Рассмотрен ряд реализованных и концептуальных проектов МЛБУ, в т.ч. отечественных. Описаны характерные особенности, преимущества и недостатки рассмотренных технических решений. Отмечены наиболее удачные конструкции и возможные условия их применения.

Заключение. Применение мобильных ледостойких буровых установок на российском арктическом шельфе является перспективным решением. Теоретическая ценность работы заключается в комплексном рассмотрении различных вариантов существующих в мире МЛБУ, а также обусловлена рассмотрением их возможного применения при освоении месторождений Ямальского центра газодобычи. Статья имеет практическое значение с точки зрения возможности использования полученных результатов при выборе способов обустройства месторождений, расположенных в Обско-Тазовском регионе, и учета накопленного опыта при проектировании океанотехники.

Ключевые слова: ледостойкая буровая установка, мобильная буровая установка, МЛБУ, арктический шельф, разведочное бурение, конструктивные решения, погружные платформы, ледостойкие ППБУ, ледостойкие СПБУ, монокон, CIDS, SSSC, блок-гигант.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

MISCELLANEOUS

UDC 629.563.2+622.242.4
EDN: WUYNMY

K.A. Savchenkov¹, S.V. Verbitsky¹, A.V. Lobanov²

¹ Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg

² PJSC Gazprom, St. Petersburg, Russia

MOBILE ICE-RESISTANT DRILLING RIGS. SURVEY OF WORLD EXPERIENCE

Для цитирования: Савченков К.А., Вербицкий С.В., Лобанов А.В. Мобильные ледостойкие буровые установки. Обзор мирового опыта. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 2(408): 157–168.

For citations: Savchenkov K.A., Verbitsky S.V., Lobanov A.V. Mobile ice-resistant drilling rigs. Survey of world experience. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 2(408): 157–168 (in Russian).

Object and purpose of research. The object of the research is mobile ice-resistant drilling units (MRDU). The aim of the work is to highlight the domestic and foreign experience in the creation of MRDU on the example of typical projects and to assess the possibilities of using such drilling rigs on the Russian shelf.

Materials and methods. The Russian Arctic shelf is similar to the shelf of the USA, Canada and Norway in terms of natural and climatic conditions. These countries have achieved some success in the creation of mobile ice-resistant drilling units, that is why the method of analytical research and generalization of the world experience in the creation of ice-resistant drilling rigs mainly by these countries was used. Materials of classification societies, research results of foreign as well as domestic scientists, designers and analysts in the field of Arctic shelf development were used.

Main results. The analysis of materials devoted to the development of drilling rigs for the Arctic shelf and the development of the Arctic as a whole allowed us to form an assessment of the possibilities of developing the resources of the northern seas using mobile ice-resistant drilling rigs. Within the framework of the present work the prospects of the Ob and Taz bays in the field of hydrocarbon production were described, the difficulties of development of this region of Russia and the specificity of weather and climatic conditions were formulated. Conditional classification of mobile ice-resistant drilling rigs has been carried out. A number of realized and conceptual projects of MRDU, including domestic ones, are considered. Also, characteristic features, advantages and disadvantages of the considered technical solutions are described. The most successful designs and possible conditions of their application are noted.

Conclusion. According to the conducted research, the application of mobile ice-resistant drilling rigs on the Russian Arctic shelf is an extremely promising solution. The theoretical value of the work lies in the complex consideration of various variants of existing in the world MLBU, as well as due to the consideration of their possible application in the development of fields of the Yamal gas production center. The article is of practical importance from the point of view of the possibility of using the results obtained when choosing ways to develop the fields located in the Ob-Taz region and taking into account the accumulated experience in the design of ocean engineering.

Keywords: ice-resistant drilling rig, mobile drilling rig, MRDU, ice resistance, mobility, Arctic shelf, exploration drilling, design solutions, submersible platforms, ice-resistant semi-submersible drilling units, ice-resistant jack-up drilling units, monoon, CIDS, SSDC, giant block.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Одни страны мира не имеют собственных месторождений нефти и газа на суше, в других такие месторождения истощаются. В настоящее время поисковые работы на нефть и газ в прибрежной зоне ведут более сотни государств, а добычу осуществляют около 50. Для стран с «богатым» шельфом приоритетными становятся офшорная разведка и добыча. Деятельность многочисленных организаций связана с исследованиями, проектированием и строительством сооружений в полярных районах континентального шельфа. Отечественной и мировой нефтегазовой промышленностью накоплен большой опыт освоения морских нефтяных и газовых месторождений континентального шельфа в условиях незамерзающих морей.

Вместе с тем отработанной технологии и специальных технических средств для проведения в широких масштабах буровых и эксплуатационных работ в условиях арктических морей практически нет. Воды Арктики считаются наиболее опасными морскими районами для выполнения буровых работ. При разработке этих районов морская нефтяная и газовая промышленность сталкивается с рядом проблем, связанных со спецификой окружающей среды [1].

Сложности освоения шельфа замерзающих акваторий связаны с суровыми климатическими условиями, а именно:

- низкие температуры воздуха (до -60 °C);
- тяжелые ледовые условия (ледовый период до 10 месяцев в году, толщины льдов до 3 м, торосы, айсберги);
- наличие вечной мерзлоты;
- существенные волновые воздействия;
- действия течений;
- большие расстояния от промышленных баз (транспортировка связана со значительными расходами средств и времени) [2].

Вышеуказанные факторы отражаются на конструкциях сооружений, которые должны эксплуатироваться круглогодично. Большая стоимость таких сооружений вместе с оборудованием, а также их эксплуатация в суровых климатических условиях требуют усиленного внимания к вопросам эксплуатационной надежности. Аварии шельфовых сооружений должны быть в максимальной степени исключены, т.к. это связано с потерями обслуживающего персонала, загрязнением среды и колоссальными убытками.

Возводимые в полярных водах сооружения представляют собой разнообразные конструкции. Первые платформы из железобетона и стали для континентального арктического шельфа начали

проектироваться и строиться с конца 1960-х гг. Первые проекты погружных платформ разработаны фирмами США и Канады.

Переходя к классификации и обзору различных типов МЛБУ, следует отметить, насколько актуальной является концепция таких сооружений в контексте российского промысла.

«Основной потенциал прироста запасов нефти континентального шельфа связан с недрами арктических морей. Общие ресурсы углеводородов арктического шельфа оцениваются в 83 млрд т условного топлива. Из них около 80 % приходится на долю Баренцева и Карского морей, где находятся все 28 морских месторождений углеводородов, открытых на сегодняшний день», – заявил в 2021 г. А.В. Новак, заместитель председателя Правительства РФ (до 10.11.2020 – министр энергетики РФ) [3].

Так, перспективными и наиболее исследованными являются Баренцево и Карское моря, включая Приамальский шельф, а также Обская и Тазовская губы (рис. 1).

Классификация

Classification

При огромном многообразии архитектурных типов МЛБУ общей чертой для всех является такое качество, как ледостойкость. Но именно «качество» ледостойкости станет первым принципиальным критерием для разделения всех МЛБУ на две группы: полуледостойкие и ледостойкие сооружения. Это весьма условная классификация, и в рамках данной статьи приоритетный интерес имеет вторая группа, но без упоминания первой обзор был бы не полным.

По существу, полуледостойкие буровые установки – это платформы, предназначенные для работы в очень «легких» ледовых условиях. Зачастую их ледостойкие свойства сводятся только к воз-

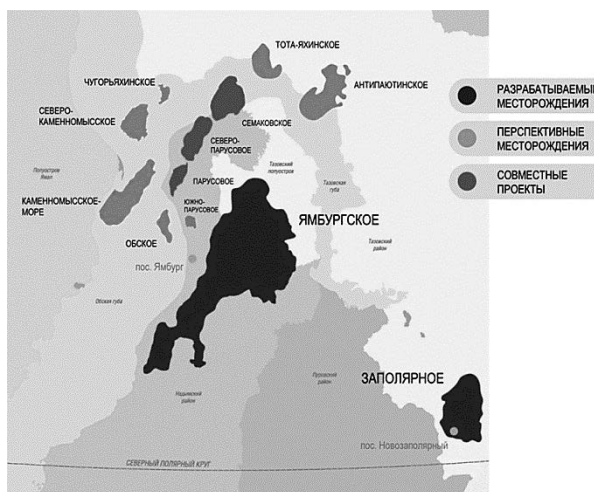


Рис. 1. Схема расположения перспективных месторождений Обской и Тазовской губ [4]

Fig. 1. Layout of prospective oil & gas fields in the Ob Bay and Taz Bay [4]

можности буксировки в битом или тонком льду. Например, ледовые подкрепления корпуса полупогружных буровых установок позволяют увеличивать рабочий сезон за счет более раннего прихода на место эксплуатации. Однако непредсказуемым является продление навигационного периода за счет позднего возвращения с точки. Опасная ледовая «ловушка», в которой рискует оказаться ППБУ, может стать для нее смертельной (рис. 2) [5].

В 1980-х гг. ЦКБ «Коралл» разработало эскизный проект ППБУ «Север» (рис. 3). Предполагалось бурение в мелкобитом льду толщиной до 0,3 м и буксировка в таком же льду 0,4 м. Для защиты райзера предназначалась пятая колонна.

Хорошо известные в современной России полупогружные плавучие буровые установки «Полярная звезда» и «Северное сияние» способны

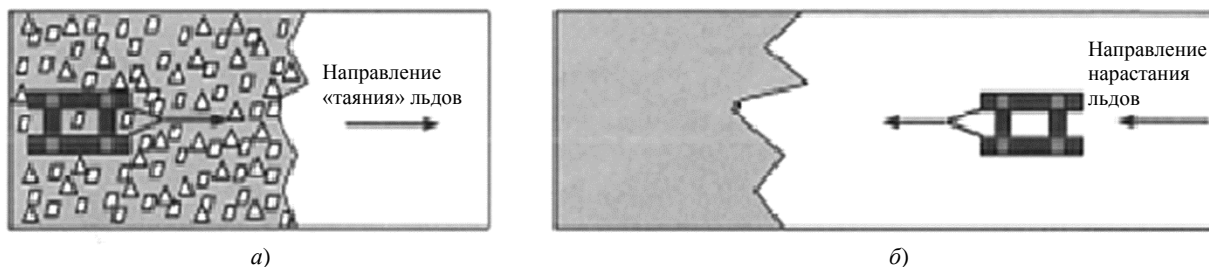


Рис. 2. Схема буксировки плавучей полупогружной буровой установки: а) в отступающем льду; б) в наступающем льду [5]

Fig. 2. Towing arrangement of a semi-submersible drilling rig: a) in retreating ice; b) in advancing ice [5]



Рис. 3. Плавающая полупогружная буровая установка «Север» [5]

Fig. 3. Mobile semi-submersible rig SEVER [5]

безопасно функционировать в битом льду толщиной не более 0,7 м [5].

Целесообразно рассмотреть ледостойкие платформы. Сооружения, возводимые в районах арктического шельфа для добычи нефти и газа, разделяются на три основные группы:

1. платформы, опирающиеся в состоянии эксплуатации на морское дно и имеющие конструкцию гравитационного, свайного или комбинированного типа;
2. плавучие комплексы, находящиеся в состоянии эксплуатации на плаву и удерживаемые якор-

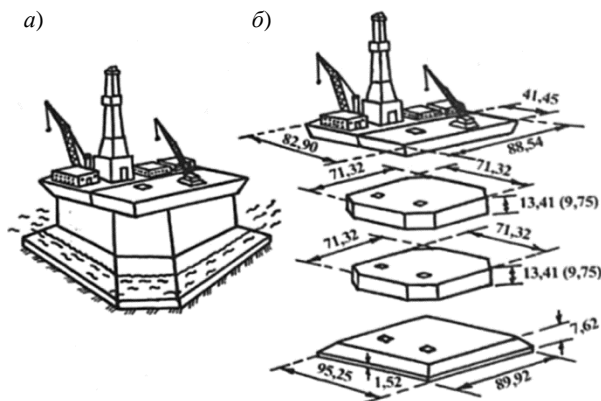


Рис. 4. Платформа проекта CIDS [6]

Fig. 4. CIDS platform [6]

ными связями или имеющие системы динамического позиционирования;

3. искусственные намывные и насыпные острова [2].
 Далее рассмотрим сооружения только первого и второго типов.

Погружные плавучие буровые установки

Submersible floating drilling rigs

Разработано достаточно большое количество проектов стационарных платформ разнообразных конструкций для разведочного и эксплуатационного бурения в арктических районах. Несущие конструкции таких платформ сделаны прежде всего из стали или из преднапряженного железобетона.

Существуют проекты одноопорных и многоопорных платформ. Корпус одноопорной платформы может быть конической или цилиндрической формы. В зоне воздействия льда поперечное сечение колонны, как правило, уменьшается, для снижения ледовой нагрузки.

Особенностью многоопорных платформ является тот факт, что между колоннами могут возникать ледовые нагромождения и требуется дополнительная защита райзера. На одноопорное основание проще устанавливать ледорез, меньше вероятность образования ледовых нагромождений [2].

В значительной мере погружные платформы являются гравитационными. Вместе с тем предусматриваются дополнительные конструктивные меры для усиления связи платформы с грунтом: устройство свайных оснований, стальных «юбок» под днищем и др.

Большое распространение получили *погружные платформы из железобетонных и стальных блоков-гигантов*. Далее приведены несколько различных проектов.

Платформа проекта CIDS (Concrete Island Drilling System) (рис. 4), состоящая из нескольких гигантских опорных железобетонных блоков, построена в 1984 г. в Японии по заказу канадской фирмы. Гравитационная мобильная буровая платформа предназначена для круглогодичной эксплуатации в море Бофорта на глубинах от 8 до 17 м. Водоизмещение 59 тыс. т. Были приняты следующие расчетные условия проектирования: толщина одногодичного ледяного покрова – 2,1 м; высота торосов – 7,6 м; высота волны – до 5,2 м [6].

Платформа имеет прямоугольную форму в плане и включает в себя следующие основные части: стальной фундаментный блок, один или два опор-

ных железобетонных блока, надводная стальная конструкция. Фундаментный блок имеет размеры в плане 95,25×89,92 м, высоту – 7,62 м, массу – около 12 тыс. т. Для усиления связи с грунтом по периметру установлена стальная «юбка» в виде вертикальной стальной стенки.

Другой проект, SHADS (Shallow Arctic Drilling Structure) (рис. 5), разработан в США для условий моря Бофорта у берегов Аляски для глубин 9–20 м. Платформа гравитационная, мобильная, комбинированной конструкции. Основными конструктивными частями являются три блока-гиганта: стальной фундаментный блок в плане 131×131 м, опорный промежуточный блок комбинированной конструкции из стали и железобетона, надводные блочные стальные строения. За счет развитых размеров днища снижено давление на морское дно, по периметру подошвы установлена стальная юбка. Стены опорного блока имеют наклон, обеспечивающий разрушение льда изгибом. Проектная ледовая нагрузка составляет 450 МН.

В России тоже разрабатывались подобные проекты. Например, Крыловский государственный научный центр предложил концептуальный проект МЛБУ для глубин моря 30–50 м (рис. 6). Корпус гравитационной погружной платформы выполняется из железобетона. В корпусе расположены отсеки для балластной воды и запасов. Платформа предназначена для круглогодичной эксплуатации на арктическом шельфе и может производить как разведочное, так и эксплуатационное бурение. Расчетные ледовые условия приняты следующими: ровный лед толщиной 2,3 м; торосы с толщиной консолидированного слоя до 2,5 м и глубиной килля до 20 м; обломки айсбергов до 250 тыс. т [7–9].

Проект BWACS (Brian Watt Arctic Concrete Structure) (США) (рис. 7) разработан для условий прибрежных районов морей Бофорта, Чукотского и Берингова. Гравитационная мобильная платформа предназначена для глубин 9–18 м. Ледовая нагрузка обуславливается воздействием ледовых полей толщиной 1,8 м, а также торосов высотой 5 м. Основным конструктивным элементом платформы является железобетонный предварительно напряженный моноблок-гигант, имеющий в плане форму шестиугольника размером 122 м. Высота моноблока 23,1 м. Конструктивно моноблок представляет собой сотовую конструкцию, устанавливается на песчаную подушку и балластируется морской водой [2].

Разработан ряд проектов платформ с моноконусной опорной частью (моноконов). Моноконы предназначены для круглогодичной эксплуатации на шельфе

моря Бофорта для диапазона глубин до 76 м. Классическая моноконусная конфигурация включает следующие основные части: фундаментную базу, опорную фигурную конструкцию в виде конуса и верхнее строение. В качестве основного материала используется как сталь, так и железобетон. При прочных грунтах

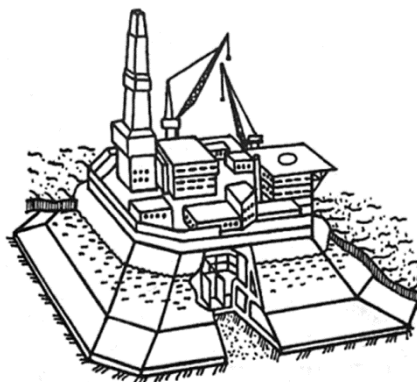


Рис. 5. Платформа типа SHADS [2]

Fig. 5. SHADS-type platform [2]

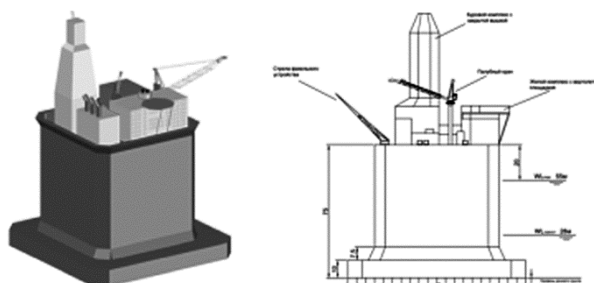


Рис. 6. Мобильная ледостойкая буровая установка проекта Крыловского центра [9]

Fig. 6. Mobile ice-resistant drilling rig designed by Krylov State Research Centre [9]

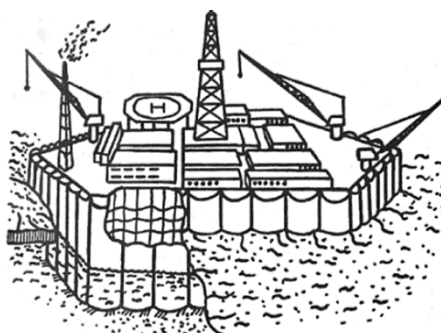


Рис. 7. Платформа проекта BWACS [2]

Fig. 7. BWACS platform [2]

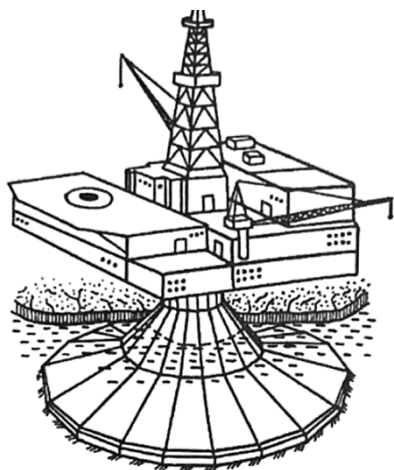


Рис. 8. Платформа стальной конструкции типа монокон для глубин 4,6–18 м [2]
Fig. 8. Steel moncon platform for 4.6 to 18 m water depths [2]

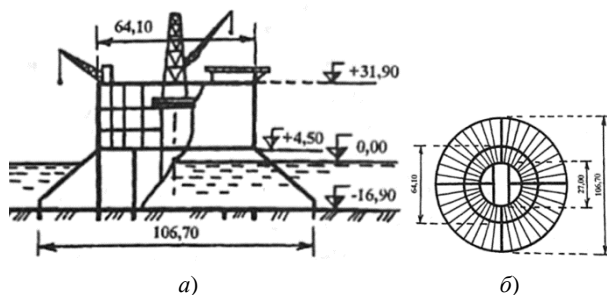


Рис. 9. Платформа стальной конструкции для глубин 14–20 м: а) схема; б) вид сверху на опорное основание [2]
Fig. 9. Steel platform for 14 to 20 m water depths: a) layout; b) top view on substructure [2]

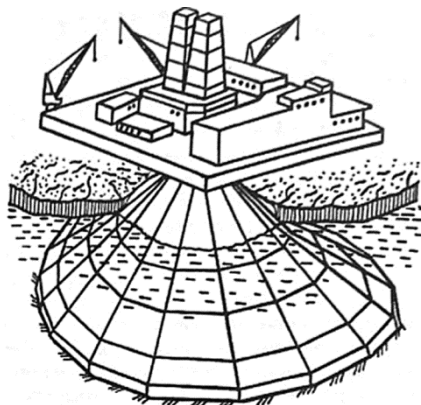


Рис. 10. Платформа стальной конструкции на свайных основаниях для глубин 20–60 м [2]
Fig. 10. Steel platform on piles for 20 to 60 m water depths [2]

моноконусное сооружение является гравитационным, при слабых грунтах сооружение может включать свайное основание. Коническая поверхность обеспечивает снижение ледовых нагрузок при воздействии льда с любых направлений.

Буровая платформа проекта ADMS (Arctic Drilling Marine Structure) (рис. 8), разработанная по заказу компании «Шеврон» (США), является гравитационной и мобильной. При проектировании учитывались воздействия однолетних ледовых полей у побережья полуострова Аляска с участками многолетних льдов. Фундаментный блок представляет собой окружность диаметром в плане 76,2 м. Конусы блока имеют панельную поверхность. Внутреннее пространство фундаментного блока разделено на отсеки, предназначенные для балластировки морской водой и хранения запасов. Для исключения примерзания льда предусмотрен обогрев поверхностей сооружения [2].

По заказу компании «Шелл ойл» (Великобритания) разработан проект для эксплуатации у берегов Аляски (рис. 9). Платформа погружная, гравитационная, мобильная. Состоит из двух основных частей: фундаментной базы и верхнего строения. При проектировании приняты следующие исходные условия: ледяные поля толщиной до 2,1 м; торосы высотой до 15 м, волны высотой до 11 м. Погонная ледовая нагрузка составила 2,5 МН/м.

Гравитационная мобильная платформа проекта AMDP (Arctic Mobile Drilling Platform) (США, Япония), представленная на рис. 10, является моноконом и предназначена для круглогодичной эксплуатации у берегов Аляски. Проектировалась с учетом минимизации ледовой нагрузки и расходов стали. Ледовая нагрузка принималась равной 800 МН. Были проведены модельные испытания. Диаметр дна опорного граненого конуса значительный – 201,2 м, сооружение может устанавливаться, в т.ч., на слабые грунты. Осадка при транспортировке 9 м.

Российское ЦКБ «Коралл» предложило концептуальный проект ледостойкой погружной буровой установки «Нерпа» (рис. 11), предназначенной для эксплуатации в Баренцевом, Карском и Печорском морях. Опорное основание представляет собой стальной монопод в виде 12-гранной пирамиды с углом наклона стенок 45°. Диаметр нижней и верхней окружностей соответственно 88 м и 28,8 м [10].

ЦКБ МТ «Рубин» также представило концептуальный проект МЛБУ (рис. 12). Установка свайно-гравитационного типа предназначена для круглогодичной эксплуатации на мелководном арктическом шельфе России. Расчетные ледовые условия: толщина ледового поля – до 2,5 м; воздействие



Рис. 11. Мобильная ледостойкая буровая установка «Нерпа» для глубин 7–27 м [10]

Fig. 11. Mobile ice-resistant drilling rig *Nerpa* for 7 to 27 m water depths [10]

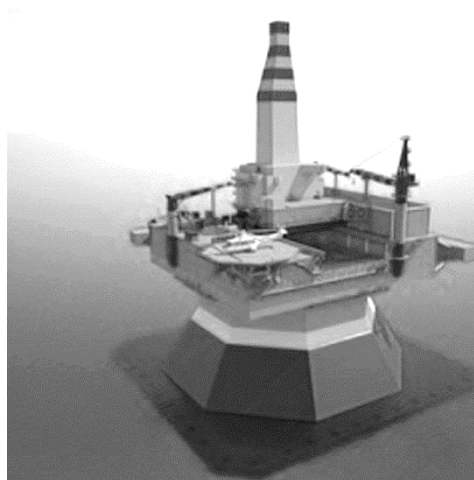


Рис. 12. Мобильная ледостойкая буровая установка для глубин 9–25 м [11]

Fig. 12. Mobile ice-resistant drilling rig for 9 to 25 m water depths [11]

торосов с толщиной консолидированного слоя 2,5 м и осадкой кия до 12 м. Особенностью проекта является возможность разместить защитный кессон ниже уровня грунта и осуществить подводное заканчивание скважин [11].

Гравитационная передвижная буровая платформа проекта ArCoP (Arctic Composite Platform) фирмы «Флуз-Дорис» (рис. 13) – это сооружение, которое может сопротивляться действию многолетних льдов и торосов. Конический корпус спроектирован из железобетона, преднапряженного в кольцевом и меридианальном направлениях. Внутренние конструкции являются стальными. Диаметр подошвы составляет 146,3 м, общая высота опорно-го основания – 35 м.

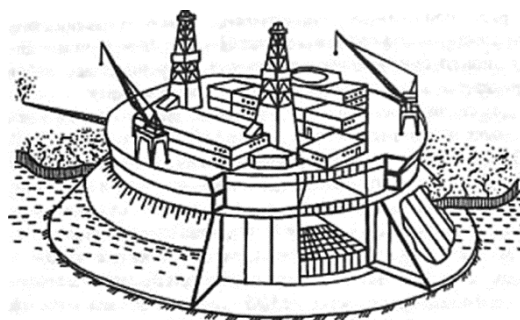


Рис. 13. Гибридная платформа из железобетона и стали для глубин 9–20 м [2]

Fig. 13. Hybrid platform of concrete & steel for 9 to 20 m water depths [2]

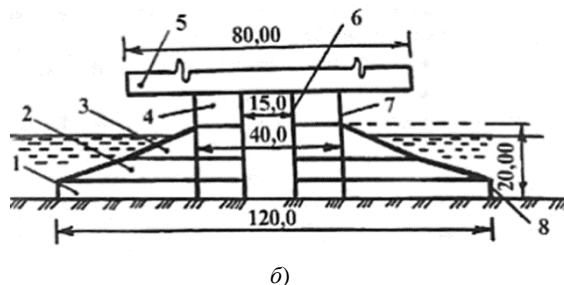
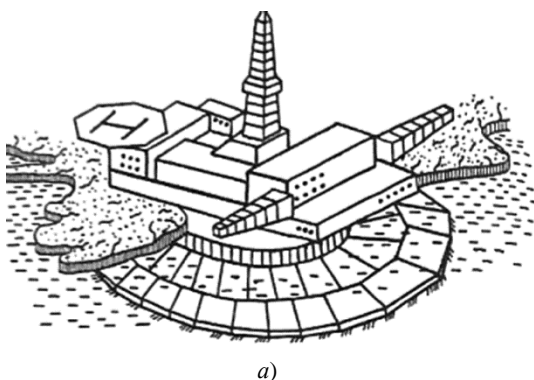


Рис. 14. Платформа из железобетона и стали для глубин 10–20 м: а) общий вид; б) в разрезе [2]

Fig. 14. Platform of concrete & steel for 10 to 20 m water depths: a) general views b) sectional view [2]

Французский проект гравитационной мобильной платформы для разведочного бурения представлен на рис. 14. Ледовая погонная нагрузка принята за 5,8 МН/м, высота волн составляет 10,5 м. Основными элементами являются: железобетонная база, опорные железобетонные корпуса в виде двух усеченных конусов, опорный цилиндр и верхнее строение.

Проектные разработки следующей платформы, представленной на рис. 15, выполнены компанией

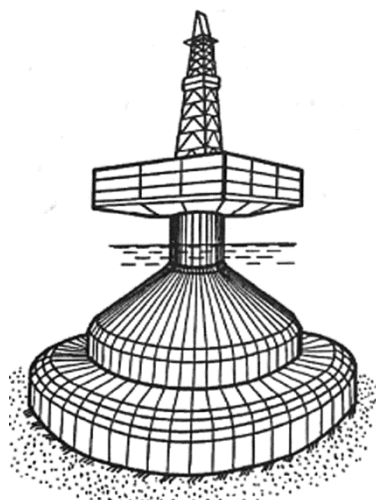


Рис. 15. Платформа из железобетона и стали для глубин 45–76 м [2]

Fig. 15. Platform of concrete & steel for 45 to 76 m water depths [2]

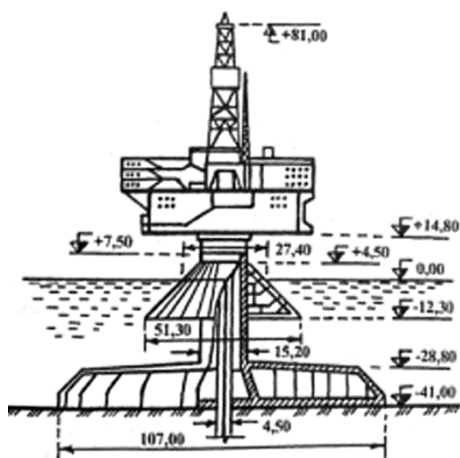


Рис. 16. Платформа комбинированной конструкции с коническим ледоломом для глубин 10–41 м [2]

Fig. 16. Platform of hybrid design with cone ice guard for 10–41 m water depths [2]

«Доум Петролиум» (США). Буровая платформа мобильная, для круглогодичной эксплуатации в море Бофорта. Ледовые условия: толщина льда – до 3 м, высота торосов – до 30 м. Состав основных конструктивных частей типичный: круглая в плане фундаментная база; опорный конус; опорный цилиндр; верхнее строение.

Ключевой особенностью этой платформы является механизм соединения фундаментной базы с опорным корпусом. Части соединяются посредством 30–40 специальных замковых штифтовых соединений. Примечательно, что при снятии платформы с точки бурения для передислокации производится разъем замковых соединений, на что предположительно требуется до 30 дней. Затем фундаментная база и опорный конус транспортируются отдельно.

Нетривиальный проект был разработан по заказу канадской фирмы «Империал Ойл» для эксплуатации в море Бофорта (рис. 16). Платформа погружная, гравитационная, мобильная. Расчеты производились на давление льда 8,4 МПа на поверхность ледореза площадью 4,6 кв. м. Платформа была установлена в море Бофорта и продемонстрировала достаточную сопротивляемость воздействиям льда. Фундаментная база диаметром 107 м и высотой 12,2 м состоит из 24 отсеков для топлива и балласта. Опорная колонна диаметром 15,2 м представляет единый с базой монолитный железобетонный блок. Примечательной конструктивной особенностью платформы является наличие ледолома на опорной колонне.

Из разработанных проектов очевидно, что платформы типа «монопод» имеют определенные преимущества по отношению к другим видам шельфовых сооружений. В частности:

- меньше сила воздействия льда и волн, т.к. малая площадь контакта и обтекаемая форма колонны;
- меньше напряжения основания, т.к. масса сооружений относительно невелика;
- относительно менее сложная технология изготовления в заводских условиях;
- устойчивость обеспечивается собственной массой сооружения с балластом.

Существуют платформы, которые проектировались и создавались путем переоборудования старых судов. Фирма «Боу арктик рисорсиз» еще в прошлом веке опубликовала интересные рекомендации по использованию старых судов в целях постройки буровых платформ. Так, танкер следует разрезать на несколько частей, из которых компо-

нуется новое строение. Перестройка не является безотходным производством, некоторые части танкера все-таки отправляются в металлолом, а оставшиеся собираются как гигантский пазл (рис. 17). Не обойтись без производства уникальных, полностью новых отсеков.

В мире построена всего одна платформа из танкера. В начале 1980-х гг. компания «Канадиан Марин Дрилинг» (Canmar) использовала корпус сдвального на металлолом нефтеналивного танкера грузоподъемностью 250 тыс. т. В 1982 г. в Японии за пять месяцев провели перестройку корпуса и переоборудование в буровую платформу (рис. 18). Агрегат получил название SSDC (Single Steel Drilling Caisson). Борта были усилены конструкциями из бетона толщиной 1 м и стальным поясом. Получившееся гравитационное сооружение нуждалось в качественной песчаной берме. Также был построен специальный опорный базис для данной платформы, увеличивающий рабочую глубину с 20 до 30,5 м и позволяющий не проводить подготовку дна [6].

Полупогружные буровые установки

Semi-submersible drilling rigs

Использование погружных платформ становится практически невыполнимой и попросту нерентабельной задачей с увеличением глубины моря. Поэтому целесообразно использовать ППБУ ледового класса. Например, в 1980-х гг. шведская компания «Готаверкен Арендал» разработала проекты полупогружных платформ, позволяющих работать в ровных льдах толщиной до 0,3 м и в разреженном льду толщиной до 1 м.

Смелым можно назвать технический проект ППБУ японской фирмы «Мицуи» (рис. 19). Расчетные допустимые ледовые поля при бурении не должны превышать 1 м, при отстое – 2 м, высоты торосов ограничиваются 30 м, масса максимально допустимого обледенения 500 т, высота волн в режиме выживания до 33 м. Платформа включает минимальное количество стабилизирующих колонн для снижения ледовой нагрузки. По этой же причине количество раскосов и поперечных связей сведено к минимуму. Предполагается два рабочих режима осадки – для чистой воды и ледовых условий. На стабилизирующих колоннах предусмотрены ледоломы для снижения нагрузки [5].

По заказу канадской фирмы в 1983 г. на мощностях японской «Мицуи» построена ледостойкая буровая платформа оригинальной конструкции для

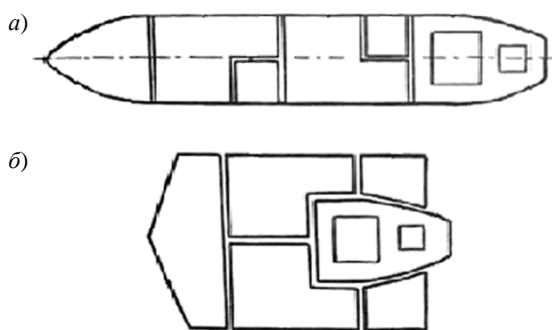


Рис. 17. Плановые схемы: а) разделение танкера на отсеки; б) компоновка платформы [2]

Fig. 17. Standard layouts: a) tanker compartmentation; b) platform layout [2]



Рис. 18. Платформа SSDC [6]

Fig. 18. SSDC platform [6]

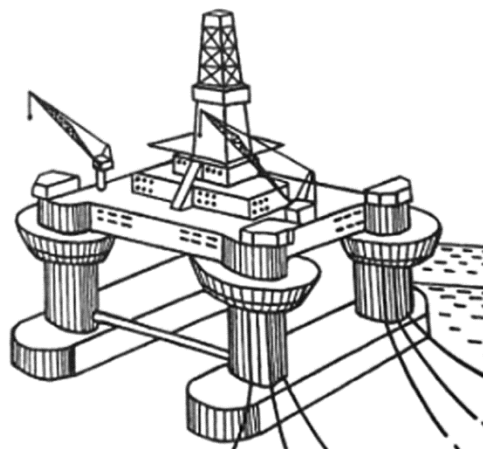


Рис. 19. Полупогружная платформа типа «катамаран» для условий Берингова моря и глубин 180 м [5]

Fig. 19. Semi-submersible platform of catamaran type for the Bering Sea, up to 180 m water depth [5]

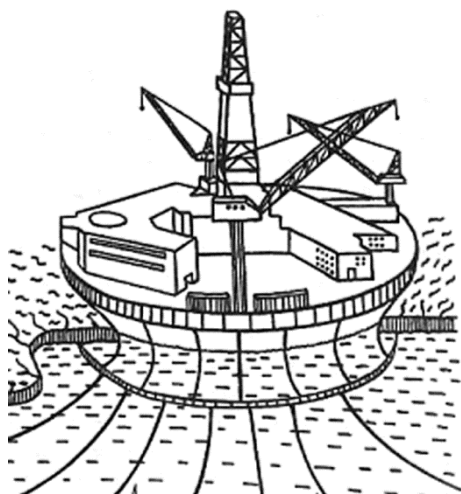


Рис. 20. Плавающая коническая платформа Kulluk для глубин до 55 м [6]

Fig. 20. Floating cone-type platform Kulluk for up to 55 m water depths [6]

эксплуатации в море Бофорта (рис. 20). Платформа представляет собой круглый в плане стальной корпус диаметром 84 м, состоящий из двух усеченных конусов. Расчетная толщина ледового поля до 1,2 м, высота волн до 3 м. При превышении расчетной толщины льда вокруг платформы в обязательном порядке должна осуществляться циркуляция ледокола. Также платформа крайне подвержена волновым нагрузкам на чистой воде.

Самый смелый и принципиально новый проект ледостойкой ППБУ принадлежит компании Huisman (Нидерланды). По заявлению компании, платформа JBF Arctic (рис. 21) способна работать во льдах толщиной 2–3 м. Идея заключается в объединении лучших свойств платформы Kulluk и классических ППБУ. Платформа имеет три осадки: две для работы на чистой воде и одну для работы во льдах. Между восемью стабилизирующими колоннами находятся

решетки, которые не препятствуют волнению, а также не позволяют попасть крупным кускам льда внутрь корпуса и повредить райзер [6].

Любопытный факт: модельные испытания ППБУ JBF Arctic проводились в Крыловском государственном научном центре. Во время испытаний установлено, что при толщине льда 3 м ледовая нагрузка не превышает держащую силу якорных линий только при малой скорости дрейфа льда 0,5–0,7 м/с [5].

Самоподъемные буровые установки

Jack-up drilling rigs

Самоподъемные буровые установки являются самым популярным и многочисленным классом буровых платформ в мире. Странно, если бы никто не попытался, хотя бы теоретически, рассмотреть использование СПБУ в арктических условиях.

Концептуальный проект, представленный на рис. 22, разработан ЦКБ МТ «Рубин». ЛСПБУ предназначена для бурения разведочных и эксплуатационных скважин. Эксплуатация платформы может продолжаться при толщине ровного льда до 1 м. Но следует отметить, что платформа способна противостоять такому льду лишь на глубине 40 м. На максимальной глубине 120 м максимально допустимая толщина ледового поля составляет всего 0,3 м. Конструктивной особенностью данной СПБУ являются цилиндрические накладки высотой 8 м, прикрепляемые на уровне ватерлинии к ферменным опорам [12].

Заключение

Conclusion

Конечно, это малая часть от всех ледостойких мобильных буровых установок на планете. Но анализ мирового опыта дает следующую картину. Инже-

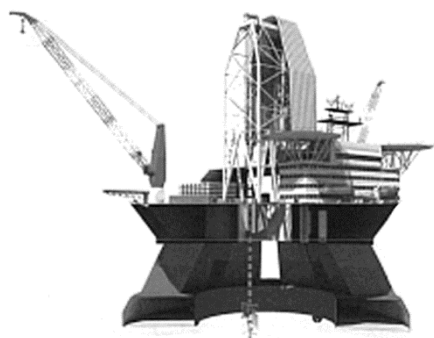


Рис. 21. Полупогружная платформа JBF Arctic фирмы Huisman

Fig. 21. JBF Arctic, company Huisman [5]

неры прошлого века использовали различные нетривиальные идеи и конструкторские решения, мир увидел много смелых проектов. И хотя часть из них не была реализована, благодаря всем этим решениям сегодня есть возможность беспристрастно посмотреть на проектирование морских нефтегазовых сооружений, что весьма любопытно в такой консервативной отрасли.

По прошествии десятилетий можно выделить наиболее удачные и жизнеспособные архитектурные типы морских буровых платформ. При этом следует отметить, что не существует универсального решения на все случаи «офшорной жизни». Ведь каждое морское месторождение уникально.

В России отсутствуют буровые установки для круглогодичной работы на арктическом шельфе. Поэтому крайне актуальной задачей является создание мобильных ледостойких буровых установок, в т.ч. с использованием зарубежного опыта в проектировании подобных платформ. Требуется обобщение технических новинок и конструктивных решений. При этом следует принимать во внимание российские условия и уже существующий опыт отечественных предприятий в отношении создания морской техники.

Список использованной литературы

1. *Мирзоев Д.А., Мирзоев Ф.Д.* Морские нефтегазово-промысловые ледовые сооружения для освоения шельфа Арктики. Москва : Газпром ВНИИГАЗ, 2016. 143 с.
2. *Кульмач П.П.* Морские сооружения для освоения полярного шельфа. Москва : 26 ЦНИИ МО РФ, 1999. 336 с.
3. *Новак А.* Будущее российской нефти в эпоху энергоперехода // Энергетическая политика : общественно-деловой научный журнал. 24.12.2021. URL: <https://energypolicy.ru/budushhee-rossijskoj-nefti-v-erohu-energorerehoda/business/24/12/2021> (дата обращения 20.11.2023).
4. Месторождение Каменномыское – море стало ближе // Газпром добыча Ямбург : [сайт]. Новый Уренгой, 2015. 27 янв. URL: <https://yamburg-dobycha.gazprom.ru/press/news/2015/01/395/> (дата обращения: 22.11.2023).
5. Плавающие полупогружные буровые установки: история, современность, перспективы. Аналитический обзор / под общ. ред. *М.А. Загородникова, В.Ф. Ленского*. Санкт-Петербург : Крыловский государственный научный центр, 2014. 212 с.
6. *Сочнева И.О., Сочнев О.Я.* Разведка углеводородов в арктических водах. Поиск технических решений



Рис. 22. Ледостойкая самоподъемная буровая установка для глубин до 120 м [12]

Fig. 22. Ice-resistant jack-up drilling rig for up to 120 m water depths [12]

- для арктических морей России. Москва : Таус, 2016. 264 с.
7. *Вербицкий С.В., Гуменюк А.В., Подгорный Л.Н.* Особенности проектирования железобетонных гравитационных платформ для условий арктического шельфа России // Труды Крыловского государственного научного центра. 2013. Вып. 74(358). С. 63–80.
 8. *Вербицкий С.В., Лопашев П.А.* Концепция погружной буровой установки для арктического шельфа России на железобетонном опорном основании // Труды Международной конференции и выставки по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа (Offshore Marintec Russia-2014). Санкт-Петербург, 2014.
 9. *Вербицкий С.В., Лопашев П.А.* Плавающие погружные буровые установки для арктического шельфа // Труды Крыловского государственного научного центра. 2012.
 10. Ледостойкая погружная буровая установка ЛПБУ 6500/9-25 «Нерпа» // ЦКБ Коралл : [сайт]. Севастополь, 2024. URL: <https://cdbcorall.ru/catalog/pogruzhnye-burovye-ustanovki-pbu/16/> (дата обращения: 21.11.2023).
 11. ЦКБ МТ «Рубин» – морские сооружения для освоения шельфа // Топливо-энергетический комплекс : [сайт]. 2020. 9 дек. URL: <https://www.tek-all.ru/news/id6996-tskb-mt-rubin-morskie-sooruzheniya-dlya-osvoeniya-shelfa/> (дата обращения: 21.11.2023).
 12. Самоподъемные буровые установки: история, современность, перспективы. Аналитический обзор / под общ. ред. *Е.М. Анполонова, В.Ф. Ленского*. Санкт-Петербург : Крыловский государственный научный центр, 2013. 206 с.

References

1. *Mirzoev D.A., Mirzoev F.D.* Ice-resistant oil and gas production platforms for Arctic offshore developments. Moscow : Gazprom VNIIGAZ, 2016. 143 p. (in Russian).
2. *Kulmach P.P.* Marine platforms for polar offshore developments. Moscow : 25th Central Research Institute of Russian MoD, 1999. 336 p. (in Russian).
3. *Novak A.* Future of Russian oil in power transition era // Energy Policy: Public Business Science Magazine. 24.12.2021. URL: <https://energypolicy.ru/budushheerossijskoj-nefti-v-epohu-energoperedehoda/business/24/12/2021> (Accessed: 20.11.2023) (in Russian).
4. *Kamennomyskoe-Sea field becomes closer* // Gazprom-Dobycha-Yamburg LLC : [site]. URL: <https://yamburg-dobycha.gazprom.ru/press/news/2015/01/395/> (Accessed: 22.11.2023) (in Russian).
5. Floating semisubmersible drilling rigs: history, state of the art, prospects. Analytical review // Under general editorship of *M.A. Zagorodnikov, V.F. Lensky*. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2014. 212 p. (in Russian).
6. *Sochneva I.O., Sochnev O.Ya.* Oil and gas exploration in Arctic waters. Finding technical solutions for Russian Arctic seas. Moscow : Taus, 2016. 264 p. (in Russian).
7. *Verbitsky S.V., Gumenyuk A.V., Podgorny L.N.* Design peculiarities of reinforced-concrete GBSs for Russian Arctic shelf // Transactions of Krylov State Research Centre, 2013. Vol. 4(358). P. 63–80 (in Russian).
8. *Verbitsky S.V., Lopashev P.A.* Conceptual submersible drilling rig (GBS) for Russian Arctic Shelf // Transactions of International Conference & Exhibition for Shipbuilding and Equipment and Technologies for Development of Continental Shelf (Offshore Marintec Russia-2014). St. Petersburg, 2014 (in Russian).
9. *Verbitsky S.V., Lopashev P.A.* Floating submersible drilling rigs for Arctic shelf // Transactions of Krylov State Research Centre, 2012 (in Russian).
10. Ice-resistant submersible drilling rig LPBU 6500/9-25 Nerpa // CDB Korall : [site]. Sevastopol, 2024. URL: <https://cdbcorall.ru/catalog/pogruzhnye-burovye-ustanovki-pbu/16/> (Accessed: 21.11.2023) (in Russian).
11. CDB MT Rubin – Marine platforms for offshore developments // Fuel & Energy Industry Supplier Base : [site]. 09.12.2020. URL: <https://www.tek-all.ru/news/id6996-tskb-mt-rubin-morskie-sooruzheniya-dlya-osvoeniya-shelfa/> (Accessed: 21.11.2023) (in Russian).
12. Jack-up drilling rigs: history, state of the art, prospects. Analytical review / Under general editorship of *Ye.M. Appolonov, V.F. Lensky*. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2013. 206 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Савченков Клим Александрович, студент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Адрес: 190121, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3. E-mail: feduklim@yandex.ru.
Вербицкий Сергей Владимирович, к.т.н., заведующий кафедрой океанотехники и морских технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Адрес: 190121, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3. E-mail: ser_verb@mail.ru.
Лобанов Алексей Валериевич, к.т.н., начальник отдела обеспечения морской деятельности и эксплуатации морской техники администрации ПАО «Газпром». Адрес: 197229, Россия, Санкт-Петербург, Лахтинский пр., д. 2, корп. 3, стр. 1. E-mail: Al.Lobanov@adm.gazprom.ru.

About the authors

Klim A. Savchenkov, Student of St. Petersburg State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code: 190121. E-mail: feduklim@yandex.ru.
Sergei V. Verbitsky, Cand. Sci. (Eng.), Head of Oceanographic and Marine Technology Department at St. Petersburg State Marine Technical University. Address: 3, Lotsmanskaya st., St. Petersburg, Russia, post code: 190121. E-mail: ser_verb@mail.ru.
Aleksei V. Lobanov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Marine Logistics and Marine Technology Operation, Administration of PJSC Gazprom. Address: 2, corp. 3, str. 1, Lakhtinsky pr., St. Petersburg, Russia, post code: 197229. E-mail: Al.Lobanov@adm.gazprom.ru.

Поступила / Received: 25.12.23

Принята в печать / Accepted: 14.05.24

© Савченков К.А., Вербицкий С.В., Лобанов А.В., 2024