**БУРОВЫЕ СУДА ДЛЯ БУРЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ****DRILLING SHIPS FOR RUSSIAN ARCTIC****С. Ю. Елисеев**
Sergey Yu. YeliseevУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation**Д. В. Рахматуллин**
Damir V. RakhmatullinУфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская ФедерацияUfa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Истощение ряда крупных нефтяных и газовых месторождений на суше обуславливает необходимость поиска и добычи углеводородного сырья, в том числе на шельфе и в морских акваториях. Технология бурения нефтяных и газовых скважин на шельфе и на море характеризуется высокими капитальными затратами и технологическими рисками. Стоимость одного метра проходки при бурении скважин на шельфе и на море значительно превышает аналогичные затраты при бурении одного метра на суше ввиду целого ряда причин. К таким причинам относятся: погодные и климатические условия в районах акваторий добычи нефти и газа, удаленность месторождений от берега, а также необходимость применения специального бурового и вспомогательного оборудования. При бурении скважин на шельфе и на море широко применяются различные буровые установки и буровые суда, а также специальная водоотделяющая колонна — райзер. При строительстве разведочных скважин на морских месторождениях нефти и газа практически на всех нефтегазоносных акваториях используются буровые суда. Интенсивное освоение Арктического шельфа и нефтегазоносных акваторий северных морей обуславливает необходимость разработки ледостойких буровых судов нового поколения. При работе в условиях Арктического шельфа наибольшую опасность для бурового судна представляют дрейфующие льды. В настоящей статье рассмотрены специфические особенности бурения скважин в условиях Арктического шельфа, проведен анализ существующих типов буровых судов ледового класса. В работе рассматриваются методы защиты бурового судна и водоотделяющей колонны (райзера) от дрейфующих льдов.

The depletion of a number of large oil and gas fields on land necessitates the exploration and production of hydrocarbons, including sea shelf and offshore. Offshore and sea shelf oil and gas drilling technology is characterized by high capital costs and technological risks. There are a lot of reasons because the cost of one meter of drilling at offshore and sea shelf is significantly higher than the cost of drilling one meter on land. Among these reasons are: weather and climate conditions in the areas of oil and gas production, the remoteness of deposits from the shore, as well as the need for special drilling and auxiliary equipment. Various drilling rigs and drilling vessels, as well as a special water separating column — riser, are widely used in offshore drilling industry. Drilling ships are used in the construction of offshore wells exploration in almost all oil and gas areas.

Ключевые слова

эксплуатация Арктических
месторождений нефти и газа,
буровое судно,
шахта водоотделяющей колонны
на нижней палубе бурового судна,
защитные и швартовые турели,
двойная система удержания
бурового судна

Key words

exploration of Arctic oil
and gas fields, drill ship,
moon pool,
protective and mooring turret,
drill ship double retention system

Intensive development of the Arctic shelf and oil and gas areas of the Northern seas makes it necessary to develop a new generation of ice-resistant drilling vessels. The greatest danger for drill ship in conditions of Arctic shelf is a drifting ice. In the present article specific features of drilling of wells in the conditions of the Arctic shelf are considered, the analysis of the existing types of drilling vessels of ice class is carried out. The paper deals with the methods of protection of a drilling vessel and a water-separating column (riser) from drifting ice.

Российская Федерация обладает уникальными месторождениями нефти и газа на территории Арктического шельфа и акваториях северных и дальневосточных морей. По мере истощения нефтяных месторождений, расположенных на суше и в прибрежных акваториях, становится актуальным вопрос отсутствия техники и технологии эксплуатационного бурения и добычи нефти в условиях Арктики. Суровые климатические условия и интенсивное образование льда не позволяют проводить процесс бурения и испытания скважин с помощью обычных полупогружных плавучих буровых установок и буровых судов кроме как в период так называемого «бурового окна», который длится 2–3 мес. в Арктических морях и 4,5 мес. в дальневосточных морях, так как в остальное время ледовая нагрузка наносит серьезный ущерб подвижным частям оборудования, предназначенного для морского бурения. На рисунке 1 представлены сезонные ограничения для процессов бурения.

The Russian Federation has unique oil and gas reserves located on the Arctic shelf and water areas of the Northern and Far Eastern seas. With the gradual depletion of mature oil fields located on the shore and shallow water, the question arises about the lack of techniques and technologies for exploration and production drilling in Arctic conditions. The severe ice and climatic conditions do not allow conventional semi-submersible floating drilling rigs and drilling ships to drill and test wells outside the «drilling window», which is 2–3 months in the Arctic seas and 4,5 months in the Far Eastern seas, because ice out this period pose a serious threat to existing mobile offshore drilling units. Seasonal drilling limits are outlined on Figure 1.

Рисунок 1. Сезонные ограничения процессов бурения (2013, The Pew Charitable Trusts)

Figure 1. Seasonal drilling limits (2013, The Pew Charitable Trusts)

На данный момент Россия обладает двумя полупогружными буровыми установками («Northern Lights» и «Polar Star»), с помощью которых можно проводить работы в условиях незначительных ледовых нагрузок (ежегодно образуемая толщина льда не превышает 0,7 м).

Однако, как показал анализ существующих конструкций, ни одна страна в мире не обладает буровыми установками и судами, способными проводить работы в условиях образования плавучего льда толщиной 1,1–1,4 м, а также самостоятельную навигации во льдах вслед за ледоколом [1–7].

Все возможные развиваемые проекты буровых установок направлены лишь на увеличение защиты райзера от ледовых нагрузок и сохранение устойчивости при работе в условиях дрейфующего льда.

В связи с вышеизложенным необходимо разработать проект бурового судна, обладающим рядом преимуществ за счет следующих свойств:

1. Ледовый класс бурового судна не должен быть ниже, чем Арктика 6, что позволяет судну проводить независимую от ледокола навигацию во время перемещений;

2. Наличие защитной швартовой турели, которая надежно защищает райзер от дрейфующего льда;

3. Полноценный обогрев, или «утепление буровой установки», позволяющий экипажу судна работать в условиях низких температур.

Буровое судно ледового класса «Stena IceMAX» уже существует и эксплуатируется буровой компанией *Stena Drilling Company*, устройство судна показано на рисунке 2.

Такое судно было построено в Южной Корее на верфи *Samsung Heavy Industries* в 2012 г. Это судно было спроектировано в соответствии с требованиями ледового класса PC-4, что соответствует классу Арктика 6 в Российском регистре судоходства [5].

Ледовый класс бурового судна предполагает возможность работы в диапазоне температур от минус 20 °C до минус 30 °C, на рисунке 2 показано данное судно.

Как следует из описания и конструкции бурового судна «Stena IceMAX», оно предназначено для работы в Арктических морях, хотя оно и не обладает системой защиты морского райзера от дрейфующего льда.

Согласно данным, представленным в [4], данное судно обладает защитой от замерзания в области буровой шахты при ее орошении водой теплого моря.

Currently, Russia has two semi-submersible drilling units («Northern Lights» and «Polar Star») that are capable of operating in light ice conditions (broken annual ice up to 0.7 m thickness).

However, as an analysis of existing designs has shown, no country in the world has drilling rigs and drill ships capable of withstanding operation under drifting broken ice with a thickness of 1.1–1.4 m, as well as independent navigation in ice behind an icebreaker [1–7].

All the developed prospective drilling rig projects are aimed only to increase the protection of the riser from the ice loads and on holding the position while working in a floating ice.

In connection with the mentioned above, it is necessary to work out a draft of a drill ship that benefits from the following properties:

1. Ship hull's ice class should not be lower than Arc6, which will allow the ship for independent navigation in the wake of an icebreaker when changing positions;

2. The presence of a protective mooring turret which will reliably protect the riser from floating ice;

3. Full warming, «rig winterization», which will allow the crew to work at low temperatures.

An ice class drill ship of ice class «Stena IceMAX» (Figure 2) already exists and operated by *Stena Drilling Company*.

This ship was built in South Korea by *Samsung Heavy Industries* in 2012 and was designed taking into account the requirements [5] for the ice class PC-4, which corresponds to the Arc6 class in the Russian Register of Navigation.

The full name of the class is DNV: + 1A1 PC-4 Winterized Cold (-20 °C) (-30 °C) Ship-shaped Drilling Unit (N) HELDK-SH CRANE E0 F-AM DYNPOS-AUTRO DRILL (N).

As follows from the description and design of the drill ship «Stena IceMAX», it is intended for operation in the Arctic seas, although it does not have a system for protecting the marine riser from floating ice.

According to [4], this ship implements the protection of the moonpool area from frost by irrigation with warm sea water.

Рисунок 2. Буровое судно «Stena Icemax» [3]

Figure 2. Drill Ship «Stena Icemax» [5]

Согласно [6], а также расшифровке названия класса судна, можно сделать вывод, что данное буровое судно обладает лишь динамической системой позиционирования и на нем не предусмотрена турель на буровой шахте, и, соответственно, на нем нет якорной швартовой системы пассивного удержания.

Серия экспериментов, проведенных в специальном ледовом бассейне и направленных на имитацию воздействия движущегося льда на корпус судна, показала, что динамическая система сдерживания способна противостоять ледовой атаке, надвигающейся на буровое судно.

В ходе исследований была воспроизведена следующая ледовая ситуация: дрейфующий лед толщиной 0,7–1,3 м (сцепление составляет 8/10), скорость надвигающегося льда 0,3–1,0 узла.

Далее, после того как судно было окружено со всех сторон льдом, корпус был развернут с помощью азимутальных трастеров на 180°.

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что динамическая система позиционирования способна удерживать судно на устье скважины, а также может вращать корпус судна в условиях разряженного льда.

Однако постоянная работа трастеров приводит к увеличению нагрузки на судовые генераторы, и, как следствие, к увеличению расхода топлива силовой установкой судна, что приво-

According to [6], and also by deciphering the name of the class, it can be concluded that this drill ship has only a dynamic positioning system, and there is no turret passing through the moon pool, and accordingly there is no anchor mooring system of passive retention.

A series of experiments conducted in the ice basin and aimed at imitating the ship's hull from moving ice showed that the dynamic containment system is able to withstand the onslaught of floating ice on the hull.

An imitation of the following ice situation was performed: drifting ice 0.7–1.3 m thick (with a cohesion of 8/10), the speed of approaching the ice: 0.3–1.0 knots.

Further, after the vessel was surrounded by ice, the body was rotated through 180° with the help of the azimuth thrusters.

The results of the experiment convincingly showed that a dynamic positioning system is capable to keep ship's position on the drilling point and also capable of rotating the hull in discharged ice.

However, the constant work of thrusters leads to an increased load on the ship's generators, and, consequently, to a high fuel consumption by the ship's power plant, which leads to a reduction in the autonomy of the vessel for fuel, and a rise in the cost of work.

Рисунок 3. Модель бурового судна в ледовом бассейне [4]

Figure 3. Drill ship model in the ice basin [4]

дит к снижению автономности судна по топливу и увеличению стоимости буровых работ.

Обоснование безопасности бурового судна без защитной турели приводится в [8]. В качестве основы безопасности труда исследователи рассматривают наличие системы ледового мониторинга, включающей как вспомогательные суда, так и водные и подводные управляемые комплексы.

Доступность данных о движении льда, его толщине и степени связанности (сцепления) позволяет заранее остановить работу, отсоединиться от скважины и переместиться на безопасное расстояние.

Ведущие мировые технологические компании (*Aker Solutions* и *Aker Arctic*) работают над проектами Арктических буровых судов.

Особое внимание уделяется разработке ледостойких корпусов судов, и в этой связи были изучены прочностные характеристики корпусов на крупномасштабных моделях во время их заморозки в испытательных бассейнах.

Похожие работы были проведены в Государственном исследовательском центре Крылова в качестве составной части проекта бурового судна БС034. Следует отметить, что проекты корпусов судна достаточно квалифицированно разрабатываются судостроительными компаниями, а современные марки ста-

The rationale for the safety of the drill ship without a mooring turret is given in [8]. As the basis for work safety researchers consider the presence of an ice monitoring system, which includes both support vessels and air and underwater remote operated vehicles.

The availability of data on the movement of ice, on their thickness and cohesion allows to stop work in advance, disconnect from the well and move to a safe place.

The leading world technology companies (*Aker Solutions* and *Aker Arctic*) are working on draft designs of Arctic drill ships.

Particular attention is paid to the development of the ice-resistant hull of the ship, and in this connection, the strength properties of the hulls were studied on large-scale models during freezing in the basins.

Similar works were also performed at the Krylov State Research Center as part of the BS034 drill ship project. It should be noted that ship hull designs are well developed by ship-building companies, and modern steel grades allow building a hull of almost any ice class.

лей позволяют создать корпус судна практически любого ледового класса.

Кроме обеспечения достаточной прочности корпуса судна, являющегося основой для бурового оборудования, также необходимо защитить райзер от воздействия дрейфующего льда.

Актуальность данной проблемы подтверждается тем фактом, что разработки по данному направлению уже проводились и защищены положениями нескольких действующих патентов.

Заслуживает внимания тот факт, что и Российские, и иностранные исследователи определили оптимальную форму защитных ледовых турелей.

Российский исследователь В.И. Таровик в [9], посвященной буровым судам для работы в условиях Российской Арктики, приводит следующие направления развития защитной турели. Встроенная турель диаметром 17 м, совмещенная с буровой шахтой и якорными цепями системы пассивного удержания, проходит через запорное устройство в корпусе турели и

In addition to ensuring the strength of the ship's hull, which is the base for drilling equipment, it is also necessary to protect the riser from floating ice.

The urgency of this problem is confirmed by the fact that in this direction, developments are underway and several applications for patents have already been submitted.

It is noteworthy that both Russian and foreign researchers have recognized the optimal design of moored turret-type ice protection.

Russian researcher Tarovik V.I. in [9], devoted to a drill ship for the Russian Arctic, gives the following developments on a protective turret. An integrated 17-meter diameter turret is combined with a moon pool, and the anchor chains of the passive retention system pass through a locking device in the turret housing and are then fixed to the body ship (Figure 4).

1 — турель; 2 — корпус бурового судна; 3 — нижний отсек турели; 4 — балластный отсек; 5 — райзер, либо бурильные трубы; 6 — обломки льда; 7 — уровень основной плоскости; 8 — направляющие; 9 — буровая шахта

Рисунок 4. Защитная турель с затопляемым отсеком

1 — drilling turret; 2 — drill ship hull; 3 — lower turret section; 4 — ballast compartment; 5 — marine riser or a drill pipe; 6 — ice fragments; 7 — drill ship's base plane; 8 — guides; 9 — moon pool

Figure 4. Protective mooring turret with flooded compartment

затем прикрепляется к корпусу судна так, как это показано на рисунке 4.

Таким образом, достигается ряд целей. Во-первых, реализуется двойная система удержания судна, так как якорная система работает совместно с динамической системой позиционирования, что приводит к снижению нагрузки на винт и снижению расхода энергии. И, во-вторых, возможность вращения судна вокруг турели позволяет командиру перемещать корпус судна во время шторма и в условиях дрейфующих льдов наиболее рациональным способом.

Следует также отметить, что способ был также разработан для защиты винта от дрейфующего льда, падающего под корпус бурового судна при использовании защитной турели с затапливаемым отсеком [1].

Принцип защиты от дрейфующего льда заключается в том, что затапливаемый отсек турели опускается ниже основной плоскости дна бурового судна и тем самым предотвращает попадание льда в буровую шахту.

В тот момент, когда буровое судно покидает скважину, необходимо отсоединить райзер и якорную удерживающую систему.

Согласно описанию работы турели, представленной в [1], необходимо отсоединить якорные цепи от корпуса с целью перемещения судна и в последующем произвести их сброс.

Обратное перемещение (подъем) якорных цепей описывается в [2] и предполагает применение подводно управляемых устройств.

В виду того что подавляющее большинство подводных устройств требует применения кабеля для контроля процесса, процедура раскрепления якорной цепи значительно осложняется ввиду дрейфующих льдов, которые могут уничтожить контрольные кабели.

Данные, приведенные в [4, 10], представляют развитие конструкции бурового судна, которое практически полностью соответствует Российскому, но отличается тем, что в ней применяется турель буйкового типа, ранее разработанная и внедренная на существующих плавающих комплексах.

Якорные цепи удерживающей системы соединены с дном турели съемным и затапливаемым бумом.

В том случае, если возникает необходимость покинуть место проведения буровых работ и установить якоря, происходит отключение удерживающего устройства и почти мгновенное затопление бую, который затем опускается на некоторую глубину. Обратное соединение верхней части турели и бую описано в [2].

In this way several objectives are achieved: firstly, a dual system of holding the drill ship is realized, since the anchor system works simultaneously with the dynamic positioning system, which reduces the load on the screw columns and reduces power consumption. Secondly, the ability of a drill ship to rotate around the turret allows the captain to orient the hull of the ship in the most advantageous manner when the storm and when meeting with floating ice fields.

It should also be noted that a method has also been developed for protecting a water column from floating ice falling under the hull of a drill ship by using a turret with a flooded compartment [1].

The principle of protection from floating ice is that the flooded turret compartment drops below the main plane of the drill ship and thereby prevents ice from entering the moon pool.

When a drill ship leaves the drilling point in addition to disconnecting the riser, it is also necessary to detach the anchor holding system.

When working with the turret described in [1], it is necessary to separate the anchor chains from the hull to move the vessel, and consequently to perform their reset.

Reverse attachment of anchor chains is supposed to be carried out by the method described in [2], using remotely controlled underwater vehicles.

Since the vast majority of underwater vehicles require the presence of a cable for control and tripping operations, the process of re-attaching the anchor chains will be greatly complicated by floating ice that can kill the control cables.

Studies [4, 10] led to the development of the design of a drill ship, which in a whole repeats the Russian one, but differs by the use of the turret with a buoy that has already been worked out on existing floating complexes.

The chains of the anchor holding system are connected to the bottom of the turret, which is a detachable and flooded buoy.

If it is necessary to leave the place of drilling and drop anchors there is a disconnection of the holding device and an almost instantaneous flooding of the buoy, which then descends to some depth. The reverse connection of the upper part of the turret and buoy is not difficult and is described in [2].

Турель со съемным бум имеет неоспоримое преимущество перед турелью, через которую проходят цепи якорной системы.

Процесс отсоединения и крепления буя к якорной системе может происходить без участия вспомогательных судов.

Общими недостатками обеих конструкций являются следующие.

1. Сложность в подъеме подводного противовыбросового оборудования заключается в следующем: после того как система противовыбросового оборудования (ПВО) поднимается для обслуживания или ремонта, ее необходимо переместить из центра в рабочую зону на борту судна, но так как турель располагается в буровой шахте, эта процедура не представляется возможной. Причина этих трудностей кроется в том, что изначально турели предназначались для установки на плавучих производственных комплексах, где нет необходимости поднимать ПВО на борт корабля. Для решения этой задачи необходимо провести кардинальную переработку плана размещения бурового оборудования.

2. Высокая вероятность замерзания как пространства внутри турели, так и между ней и корпусом судна (в случае с российской конструкцией) приведет к невозможности поворота судна вокруг оси турели, а в случае внешней разработки — к невозможности сброса буя затопления. Эту проблему можно решить как путем орошения теплой морской водой, так и с помощью постоянного подогрева механизмов предотвращения образования льда.

Вывод

Российские и иностранные компании уже наработали достаточное количество проектов буровых установок для условий Арктики. Успешная реализация проектов зависит от интереса инвесторов, в качестве которых могут выступать крупные государственные структуры или ведущие операторы морских буровых платформ.

A turret with a detachable buoy has an undeniable advantage over the turret through which the chains of the anchor system pass.

The process of detaching and attaching the buoy to the anchor system can take place without the participation of auxiliary vessels.

Common drawbacks of both designs are as follows.

1. Difficulty in raising the underwater anti-blowout equipment: after the blowout preventer (BOP) system is pulled up for maintenance or repair, it must be moved from the center of the drilling shaft to the working area on board the ship, but since the turret is located in the moon pool, this operation is impossible. The reasons of these difficulties lie in the fact that initially the turrets were intended for installation on floating production complexes, where there is no need to pull the BOP on board of the ship. To solve this problem, cardinal processing of the drilling rig layout is necessary.

2. The high probability of freezing both the space inside the turret and between it and the hull of the vessel, which in the case with Russian design will lead to the impossibility of turning the vessel around the turret axis, and in the case of foreign development, to the impossibility of dumping the flood buoy. This problem can be solved both by irrigation with warmed sea water, and with the help of constant heating of mechanisms to prevent the growth of ice.

Conclusion

Russian and foreign companies have already accumulated a large number of developments on draft drilling rigs for the Arctic. Successful implementation requires the interest of investors, which will be large state structures, or leading operators of offshore drilling platforms.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Заявка на изобретение 2012125990/11 РФ, МПК В 21 В 7/128. Защитная турель бурового судна / В.И. Таровик, В.А. Вальдман, Т.А. Карелин, Е.Н. Фомичев (РФ). Заявлено 22.06.2012, опубл. 27.12.2013. Бюл. 36.

2. Заявка на изобретение 2012122344/11 РФ, МПК В 63 В 21/00. Метод защиты бурового судна турелью с якорной системой удержания в ледовых условиях /

В.И. Таровик, В.А. Вальдман, Т.А. Карелин, Е.Н. Фомичев (РФ). Заявлено 31.05.2012, опубл. 10.12.2013. Бюл. 34.

3. Заявка на изобретение 2010131829/11 Франция, МПК В 63 В 21/50. Плавучая платформа с турелью, оборудованная съемным бумом для крепления соединительных труб, проходящих со дна до поверхности / Байло Мишель, Дениз Жан-Поль, Марти Тома (Франция). Заявлено 18.03.2009, опубл. 27.04.2012. Бюл. 12.

4. Torbjørn Hals, Norway Fredrik Efraimsson. DP Ice Model of the Arctic Drillship // MTS Dynamic Positioning Conference, October 11-12, 2011.

5. IMO Guidelines, 2002 (IACS Polar Ship Rules, 2006).

6. The website of the company «Stena Drilling». URL: <http://www.stena-drilling.com/our-fleet/stena-icemax>.

7. Kryzhevich G.B. Design Problems and Development Prospects for Ice-Resistant Semisubmersible Floating Drilling Units // The Arctic: Ecology and Economy. 2017. No. 4 (28). P. 108-117. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-108-117.

8. Roger Skjetne, Lars Imsland, Sveinung Loset. The Arctic DP Research Project: Effective Station Keeping in Ice // Modeling, Identification and Control. 2014. Vol. 35, No. 4. P. 191–210.

9. Tarovik V.I. The Concept of Drills for Arctic Shelf // Arctic Regional Oil & Gas Conference, February, 26, 2013. Stavanger, Norway, 2013.

10. Henric Hannus. Aker Solutions Arctic Drillship. Norway, 2012.

REFERENCES

1. Tarovik V.I., Val'dman V.A., Karelin T.A., Fomichev E.N. *Zashchitnaya turrel' burovogo sudna* [Protective Turret of the Drilling Vessel]. Application for Invention of RF, No. 2012125990/11, 2013. [in Russian].

2. Tarovik V.I., Val'dman V.A., Karelin T.A., Fomichev E.N. *Metod zashchity burovogo sudna turrel'yu s yakornoj sistemoi uderzhaniya v ledovykh usloviyakh* [The Method of

Protecting a Drilling Vessel with a Turret with an Anchor Holding System in Ice Conditions]. Application for Invention of RF, No. 2012122344/11, 2013. [in Russian].

3. Bilo M., Denis J.-P., Marti T. *Plavuchaya platforma s turrel'yu, oborudovannaya s'emnym buem dlya krepleniya soedinitel'nykh trub, prokhodyashchikh so dna do poverkhnosti* [Floating Platform with Turret, Equipped with a Removable Buoy for Fastening Connecting Pipes, Passing from the Bottom to the Surface]. Application for Invention of France, No. 2010131829/11, 2012. [in Russian].

4. Torbjørn Hals, Norway Fredrik Efraimsson. DP Ice Model of the Arctic Drillship. *MTS Dynamic Positioning Conference*, October 11–12, 2011.

5. IMO Guidelines, 2002 (IACS Polar Ship Rules, 2006).

6. The Website of the Company «Stena Drilling». URL: <http://www.stena-drilling.com/our-fleet/stena-icemax>.

7. Kryzhevich G.B. Design Problems and Development Prospects for Ice-Resistant Semisubmersible Floating Drilling Units. *The Arctic: Ecology and Economy*, 2017, No. 4 (28), pp. 108-117. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-108-117.

8. Roger Skjetne, Lars Imsland, Sveinung Loset. The Arctic DP Research Project: Effective Station Keeping in Ice. *Modeling, Identification and Control*, 2014, Vol. 35, No. 4, pp. 191–210.

9. Tarovik V.I. The Concept of Drills for Arctic Shelf. Arctic Regional Oil & Gas Conference, February, 26, 2013. Stavanger, Norway, 2013.

10. Henric Hannus. *Aker Solutions Arctic Drillship*. Norway, 2012.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Елисеев Сергей Юрьевич, магистрант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Sergey Yu. Yeliseev, Undergraduate Student of Drilling of Oil and Gas Wells Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: sergeim941@gmail.com

Рахматуллин Дамир Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Damir V. Rakhmatullin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Drilling of Oil and Gas Wells Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rdv14@yandex.ru