

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАЗВЕДОЧНОГО И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО БУРЕНИЯ НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ**И. С. Добряков***(ОАО «Сибирский научно-аналитический центр»)*

Ключевые слова: морские установки, разведочное и эксплуатационное бурение, климатические условия, арктический шельф

Keyword: offshore systems, exploration and development drilling, climate conditions, arctic shelf

Ресурсы углеводородов Карского моря с момента их открытия и оценки всегда рассматривались в качестве основы устойчивого развития газовой промышленности страны на длительную перспективу. Главная роль в обеспечении потребностей в газе российского рынка и экспорта в ближайшей перспективе принадлежит ресурсам полуострова Ямал и шельфу Карского моря. По результатам поисково-разведочного бурения, проведенного в пределах шельфа на структурах Ленинградская и Русановская, установлена промышленная газоносность отложений сеномана, альба и апта. По величине открытых запасов и перспективных ресурсов Ленинградское и Русановское газоконденсатные месторождения могут оказаться уникальными (с запасами более 1 трл м³ каждое) в результате проведения полномасштабных геолого-разведочных работ.

В Карском море очень сложная климатическая и ледовая обстановка для проведения разведочного и эксплуатационного бурения. Морские установки в этих условиях будут подвергаться значительным нагрузкам. Бурение в Арктике связано с большими капитальными затратами и наукоёмкостью производства.

Основная часть перспективных структур, нуждающихся в детальной разведке, находится в юго-западной части Карского моря, в том числе уникальные по запасам Ленинградское и Русановское месторождения. В рассматриваемом районе круглый год преобладают отрицательные температуры с абсолютным минимумом -48 °С. Ледовая обстановка очень сложная, вода обычно бывает свободной ото льда не более двух месяцев, а в суровые зимы – менее месяца. Толщина ледовых полей составляет в среднем 1,5 метра. Глубина моря в районе предполагаемых месторождений варьируется от 50 до 200 м, местами до 300-350 м. В районе Ленинградского месторождения глубина составляет 90-120 м, в районе Русановского месторождения 50-70 м. Большие по меркам арктических шельфов глубины моря представляют дополнительную сложность для использования разведочных и эксплуатационных платформ [1,2].

Основными факторами, влияющими на выбор арктической морской платформы, являются:

- способность работать в суровом климате при пониженных температурах;
- способность воспринимать ледовые нагрузки;
- возможность установки на данных глубинах;
- научный и производственный потенциал для создания арктических платформ;
- стоимость.

Сначала необходимо проанализировать, какие типы технических средств будут являться подходящими для разведочного и эксплуатационного бурения и добычи на шельфе Карского моря.

Для разведочных работ на шельфе традиционно используются следующие типы платформ: самоподъёмные буровые установки (СПБУ), полупогружные буровые установки (ППБУ), буровые суда (БС). Все эти типы платформ могут производить буровые работы в ледовой обстановке [3].

Для эксплуатации морских месторождений используются разнообразные типы платформ и их модификации. Наиболее распространёнными являются: гравитационные с различными типами оснований, искусственные острова, TLP, SPAR, FPSO, а также подводная эксплуатация скважин. Наиболее подходящими для разработки месторождений Карского моря являются гравитационные платформы на бетонных либо стальных опорах. Прочностные характеристики этих платформ позволяют использовать их в ледовой обстановке, что подтверждено во многих арктических регионах (месторождения Сахалин-1, Сахалин-2, Мак Артур Ривер, Гранит Пойнт, Хиберния).

Следует сразу указать платформы, которые не подойдут для эксплуатации в Карском море. Гравитационные платформы с кессонным основанием, используемые для добычи в море Бофорта, типа CRI - насыпные острова, укрепленные кессонным корпусом, SSDC - переделанные супертанкеры, CIDS - бетонные острова на стальном основании, и сходные с ними по конструкции платформы не являются подходящими для условий Карского моря, так как используются на глубинах до 30 м [4]. Искусственные острова возводятся на небольших глубинах, поэтому также не подойдут для данных условий. Платформы TLP и SPAR не эксплуатировались в ледовых условиях в мировой практике, к тому же они сохраняют устойчивость на глубинах более 300 м, поэтому их нецелесообразно использовать на данных месторождениях. Ледостойкие суда FPSO начали использоваться в мировой практике недавно (месторождения Уайт Роуз и Терра Нова) и являются очень перспективными. В частности, для разработки Штокмановского месторождения выбрана платформа именно такого типа. Для ледовой обстановки Карского моря отсутствуют технические средства для круглогодичного бурения эксплуатационных скважин, следовательно, применение FPSO в современных условиях нецелесообразно. Применение систем подводной эксплуатации скважин затруднительно по этой же причине.

Рассмотрим подробнее возможности каждой из платформ.

1. Самоподъёмная плавучая буровая установка.

СПБУ состоит из корпуса, опор и подъёмной системы, которая позволяет опускать опоры на дно и поднимать их для перемещения платформы на другую точку. Установка обладает собственной плавучестью, но является несамостоятельной, поэтому нуждается в использовании буксировочных судов.

Самоподъёмная буровая установка является оптимальной для работы в условиях продленного сезона в данном регионе. Продленный режим означает, что эксплуатация буровой установки ограничена несколькими месяцами в году вне периода образования полного ледового покрытия в зимнее время, что может повлечь непредсказуемые последствия для установки. В отличие от обычных самоподъёмных буровых установок, ледовые условия диктуют необходимость проектирования ледостойкой платформы, поскольку ледовая нагрузка на самоподъёмную буровую установку будет намного больше, чем совокупное воздействие ветра, волн и течений. Уровень приспособленности для зимней эксплуатации определяется рядом

факторов, поэтому углубленное изучение изменения ледовых условий обязательно. Продолжительность операционного периода в ледовых условиях предполагает различные ледовые ситуации, которые должна будет выдерживать буровая установка, такие как нагрузка от ледовых полей, дрейфующих льдов и торосов.

СПБУ обычно не работают во льдах, но сейчас находится в стадии строительства СПБУ «Арктическая», которая будет первой в мире способна бурить в ледовой обстановке на шельфах Карского и Печорского морей. Она предназначена для разведочного и эксплуатационного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 6500 м с надводным расположением устьев скважин при глубине моря от 7 до 100 м.

2. Полупогружная плавучая буровая установка.

ППБУ состоит из основания и смонтированной на нем палубы с буровым оборудованием. Основание включает понтоны с переменной плавучестью и опоры под платформу, обладающие положительной плавучестью. В транспортном положении, несмотря на большую массу ППБУ, верхняя часть понтонов выступает над уровнем моря. На точке бурения понтоны заполняются водой, основание погружается на определённую величину и заякоривается.

Для успешного бурения на шельфе Карского моря ППБУ должна воспринимать ледовые нагрузки, сохраняя устойчивость на точке бурения. На данный момент в мире построено очень мало ППБУ для работы в ледовой обстановке.

Компания «ГВА Консалтантс» разработала проект ледостойкой ППБУ «ГВА 7500 Арктик», целевым рынком для которой является в том числе и российский арктический шельф (рис.1).

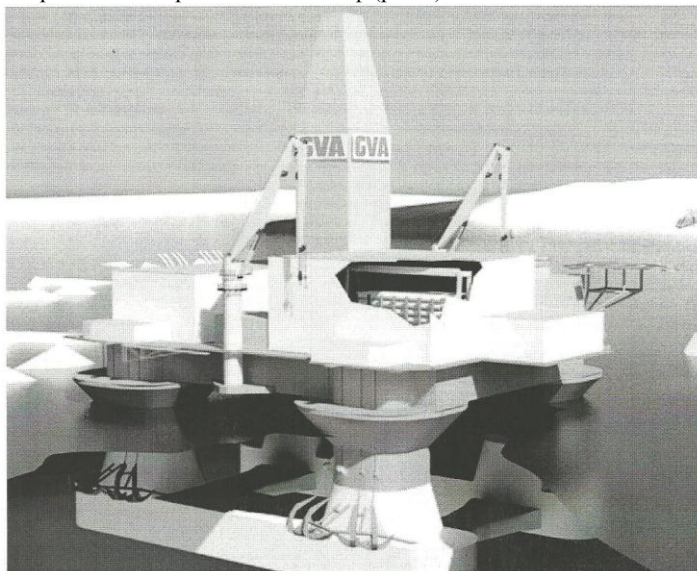


Рис. 1. «ГВА 7500 Арктик»

По правилам DNV эта установка имеет классификацию ICE 15 и ICE 1C. Она может эксплуатироваться в ледовых полях толщиной до 0,4 м и в условиях дрейфующих льдов толщиной до 1,5 м. На шельфе Карского моря она может проводить разведочное бурение с начала вскрытия ледового припая в июне до середины-конца ноября, когда начинают формироваться мощные льды. Установка и удержание платформы на точке происходит с помощью системы 16-точечного заякоривания на цепях и динамического позиционирования с восемью подруливающими устройствами. Интервал рабочих глубин платформы составляет 70-500 м. Она способна бурить скважины глубиной до 12000 м.

ЦКБ «Коралл» разработал проект ледостойкой ППБУ 6500/400, способной выдерживать давление ледовых полей толщиной 0,3 м. Как и «ГВА 7500 Арктик», она удерживается на точке бурения с помощью систем заякоривания и позиционирования. Глубина установки платформы ограничена 400-ми метрами, максимальная глубина бурения – 6500 м.

3. Буровое судно.

Его основное преимущество заключается в полной автономности и возможности проводить разведочное и эксплуатационное бурение в удалённых акваториях на глубинах более 6000 м. В отличие от ППБУ, с бурового судна нельзя осуществлять добычу углеводородов. Буровые суда можно также использовать для ремонта и заканчивания морских скважин, установки обсадной колонны или оборудования для подводной эксплуатации скважин.

В море Бофорта в 80-х годах эксплуатировалось арктическое буровое судно «Фронтё Дискавэрэр», принадлежащее норвежской компании «Фронтё Дриллинг АСА». Основная особенность «Фронтё Дискавэрэр» – турельная якорная система, так называемый вертлюг, с симметричной 8-точечной якорной схемой. Вертлюг позволяет судну осуществлять пассивное позиционирование, то есть судно может поворачиваться вокруг турели носом в направлении дрейфа льда, не останавливая при этом буровые работы, что позволяет снизить ледовую нагрузку на корпус судна и эффективно удерживаться на точке бурения, не прерывая работы. Судно оснащено системой динамического позиционирования с подруливающими устройствами. Для успешной эксплуатации такое буровое судно нуждается в ледокольной поддержке, состоящей из двух ледоколов [5].

Поэтому буровые суда ледового класса с турельной якорной системой являются подходящими для сезонного бурения на шельфе Карского моря. Эти установки являются очень перспективными для использования в арктических морях.

4. Полупогружная буровая платформа «Куллук».

Платформа такого типа спроектирована для работы в море Бофорта и построена в 1982 г. Она предназначалась для эксплуатации на глубинах до 50 м (по проекту до 120 м) в условиях, близких к условиям Карского моря, поэтому платформы такого типа являются подходящими для разведочного бурения в нём. Платформа «Куллук» представляет арктическую буровую систему второго поколения, которая позволяет продлить буровой сезон с момента взлома ледового припая в середине лета до начала формирования тяжёлых льдов в конце осени.

Основными особенностями установки такого типа являются специально разработанная форма корпуса в виде конуса (имеет 24 отсека, образующих 24 грани конуса), сужающегося к низу, в результате чего ледовая нагрузка на платформу снижается. Она также не позволяет массам льда проникать под платформу, где может повредить якорную систему или райзер. Платформа обладает прочной якорной системой с возможностью отстыковки в экстренной ситуации, которая способна выдерживать высокие нагрузки от дрейфующих в любых направлениях паковых льдов и торосов. Якорная система специально разработана так, чтобы натяжные связи избегали контакта со льдами. Платформа выдерживает нагрузку ледовых полей толщиной до 1,2 м без ледокольной поддержки [6].

Несмотря на то, что платформа может самостоятельно работать в покрытом ледяными полями море, ей обычно оказывается ледокольная поддержка. Ледоколы разбивают торосы, дрейфующий и паковый лёд на более мелкие фрагменты. Как минимум один ледокол должен оказывать поддержку платформе, обычно для этого необходимы от двух до четырёх ледоколов в зависимости от того, насколько тяжёлые ледовые условия.

Таким образом, полупогружная буровая платформа с коническим корпусом типа «Куллу» является подходящей для разведочного бурения в Карском море на глубинах 20-50 м.

5. Гравитационная платформа на бетонных опорах.

Бетонные гравитационные платформы используются для добычи нефти и газа на шельфе Северного моря с начала 70-х годов, с тех пор они себя хорошо зарекомендовали.

Платформы Condeer являются наиболее приспособленными для работы в суровых климатических условиях. Эта самая распространённая платформа на шельфе Северного моря. Основание традиционной платформы Condeer состоит из бетонных ячеек, в которых хранится добытая нефть. Ячейки также выполняют функцию балластных отсеков при буксировке и установке платформы. На основание устанавливаются одна, две, три или четыре бетонные колонны, на которые затем устанавливается верхнее строение. Первые платформы этого типа имели три опоры и 16 ячеек. В дальнейшем они претерпевали некоторые модификации в зависимости от требований заказчика [7].

Для разработки газоконденсатных месторождений Карского моря можно использовать модификацию традиционной платформы Condeer, которые принято причислять к бетонным платформам второго поколения. Основное отличие заключается в том, что у них вместо бетонных ячеек для хранения нефти в качестве основания используется массивная прямоугольная донная плита, что упрощает их конструкцию и изготовление. Основными преимуществами таких платформ являются:

- способность работать в ледовых условиях, в отличие от Condeer первого поколения;
- возможность эксплуатации на слабых грунтах;
- лучшая приспособленность для эксплуатации в неглубоких водах (до 100 м);
- сейсмоустойчивость;
- относительная технологическая несложность изготовления;
- хорошо подходят для удалённых месторождений;
- строятся в «сухом доке», что более экономически выгодно по сравнению с Condeer первого поколения, которые строились в «сыром доке»;
- способность размещать большое верхнее строение;
- установка верхнего строения на опоры не требует применения кранов;
- простота установки на месторождении (не требует свайного крепления или закоривания);
- возможность релокации (если есть необходимость);
- более удобная система балластировки.

К недостаткам можно отнести:

- огромные габариты и масса конструкции;
- продолжительность строительства (в среднем 3 года);
- большая шероховатость бетона по сравнению со сталью, вследствие чего увеличивается ледовая нагрузка.

Таким образом, использование гравитационной платформы Condeer второго поколения является экономически выгодным и надёжным.

В российской нефтегазовой промышленности есть опыт применения подобных платформ. Для проекта Сахалин- 2 были построены две бетонные платформы: «Лунская-А» («Лун-А») и «Пилтун-Астохская-Б» («ПА-Б»). «Лун-А» установлена на глубине 48 м на слабом грунте и эксплуатируется в суровых климатических условиях – толщина ледовых полей составляет около одного метра. Она представляет буровую и добывающую платформу с минимально необходимым технологическим оборудованием, включающим сооружения для очистки скважинной продукции от песка и первичной подготовки к транспортировке по подводному трубопроводу.

Платформу подобного типа можно использовать для разработки Ленинградского и Русановского месторождений на шельфе Карского моря.

Основание этой платформы состоит из донной плиты прямоугольной формы, на которой установлены четыре опоры. Донная плита служит в качестве балластной камеры при транспортировке платформы, а также предохраняет от размыва. Опоры платформы выполняют различные функции. В одной из опор обычно размещаются несколько десятков кондукторов под эксплуатационные и нагнетательные скважины. Другая опора предназначена для морских райзеров и райзеров с закрутками большого диаметра (j-tube). Остальные две опоры могут служить для установки насосов и резервуаров. Одна из опор служит в качестве соединительной с верхним строением [8].

6. Гравитационная свайная платформа на стальных опорах.

Стальные гравитационные ледостойкие платформы устанавливались в 60-70-е годы в заливе Кука на побережье Аляски для добычи нефти и газа. Некоторые из них являются действующими до сих пор. Опыт по их использованию в сложных климатических условиях можно считать успешным, хотя на шельфе Карского моря климат суровее, стальная платформа будет нуждаться в модернизации для работы в данных условиях.

Платформа состоит из основания, представляющего три, четыре, шесть или восемь стальных полых опор и верхнего строения. Обычно такие платформы устанавливаются на глубинах до 500 м, но в арктических районах максимальная глубина установки не превышает 60 м. Конструкция основания укреплена приваренными поперечными трубами, соединяющими опоры. Платформа сохраняет устойчивость из-за собственного веса и свайного крепления ко дну моря. Обычно в каждой опоре находятся по несколько свай, которые заглубляются в грунт на несколько десятков метров и служат

направлениями для эксплуатационных и нагнетательных скважин. Также на дно устанавливается юбочное защитное ограждение для придания платформе дополнительной устойчивости.

Можно выделить следующие отличия стальной свайной платформы от бетонной:

- для строительства необходим ≈ 1 год (значительно меньше чем для бетонной);
- стоимость – дороже;
- вес – легче;
- сложность монтажа – требуется применение плавучих кранов и свайное крепление;
- отсутствие возможности релокации;
- меньшая сейсмоустойчивость;
- ледовая нагрузка на сталь меньше чем на бетон.

Немаловажным фактором является то, что российские компании не имеют опыта строительства и эксплуатации подобных платформ на арктическом шельфе, в отличие от бетонных, которые успешно работают на проекте Сахалин-2. Подобный опыт имеют только американские и канадские компании. В заливе Кука установлены несколько стальных ледостойких платформ. Такие платформы работали на месторождениях Мак Артур Ривер и Гранит Пойнт, например, платформа «Стилхэд», установленная на глубине 56 м [1].

Природные условия на шельфе Карского моря более суровые, чем в заливе Кука – море почти круглый год покрыто тяжёлыми льдами. Поэтому рассматриваемая платформа будет нуждаться в усовершенствовании, чтобы выдерживать большую ледовую нагрузку и более низкие температуры (рис.2).

7. Коническая гравитационная стальная платформа-мюнопод.

В 80-х годах создана арктическая передвижная платформа, предназначенная для круглогодичного бурения и эксплуатации на шельфе моря Бофорта на глубинах до 50 м в сложной ледовой обстановке. Так как климатические условия в Карском море и в море Бофорта примерно одинаковые, то эту платформу можно использовать для разработки Русановского месторождения, где подходящие глубины моря.

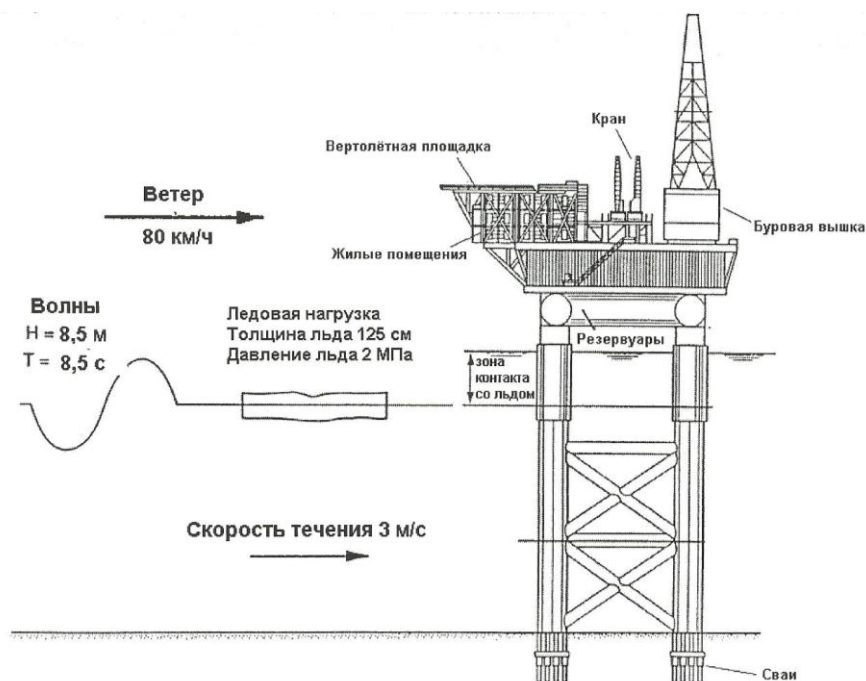


Рис. 2. Платформа «Стилхэд»

Подобная платформа является чуть ли не единственной из реально построенных, которые способны работать в условиях Карского моря на глубинах 50-60 м. Она имеет ряд особенностей, отличающих её от сооружений подобного типа, с небольшой осадкой при установке на дне, так как она полностью изготовлена из стали. Поэтому она может быть установлена на различные типы грунтов, в том числе и на слабые илистые грунты, не требуя свайного крепления или закрепления. Также сравнительно небольшая масса позволяет производить буксировку платформы вместе с верхним строением при небольшой осадке, то есть на небольших глубинах моря (рис.3).

Платформа состоит из основания – 4, конического корпуса – 3, который располагается на основании, и палубы – 1, где располагается буровое и технологическое оборудование – 2. Основание платформы состоит из донной плиты и многогранной внешней стенки. На донной плите установлены многочисленные небольшие перегородки, которые погружаются в донный грунт для придания устойчивости платформе. Корпус платформы имеет многогранную конусообразную форму и состоит из множества секций. Такой корпус специально разработан для противостояния ледовым нагрузкам. В верхней части корпуса расположен дефлектор – 5, который служит для предотвращения повреждений нижней части палубы. Буровая шахта располагается не по центру платформы и имеет небольшое коническое расширение к низу. Это сделано для того, чтобы в случае небольшого наклона платформы относительно дна моря буровая колонна избежала контакта со стенками шахты [5].

Платформа может использоваться для разведочного и эксплуатационного бурения. С неё можно пробурить до 48 скважин на одной точке. Она достаточно удобна для транспортировки и релокации, так как не требует для этого никаких дополнительных операций кроме дебалластировки и ребалластировки.

Таким образом, стальная коническая платформа-монопод может быть использована для бурения и добычи на шельфе Карского моря, в частности, на Русановском месторождении.

На данный момент рассмотрены доступные технологии и технические средства, которые можно использовать для проведения разведочного и эксплуатационного бурения на шельфе Карского моря и проанализирована возможность их эксплуатации в тяжёлых климатических условиях. Наиболее подходящими для разведочного бурения в данном районе являются самоподъёмные и полупогружные буровые установки, а также буровые суда. Можно использовать любые из этих установок, которые есть в наличии у буровых подрядчиков и компаний-операторов.

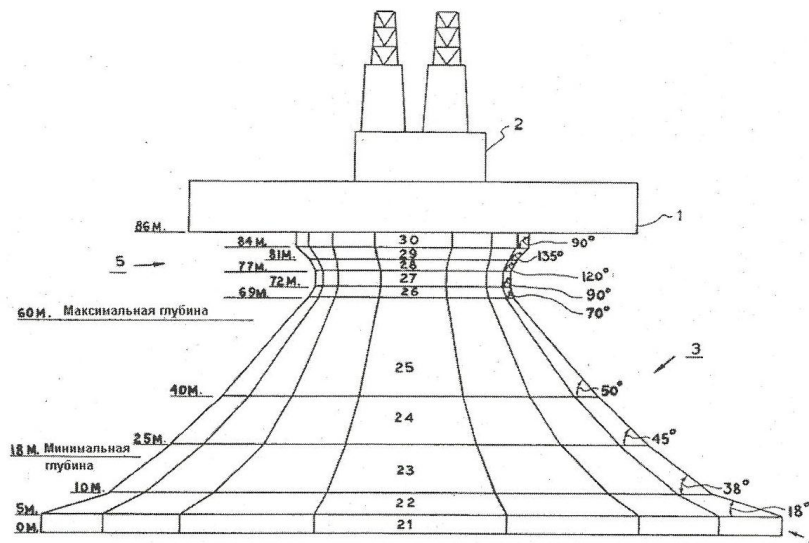


Рис. 3. Коническая платформа

Для эксплуатационного бурения и добычи наиболее подходящей является гравитационная платформа на бетонных опорах, тем более что есть отечественный опыт её использования.

Другие типы платформ можно рассматривать как альтернативу.

Список литературы

1. Лотция Карского моря в 2-х частях. Часть 1. СПб.: ГУ навигации и океанографии Минобороны РФ, 1998. -466 с.
2. В.П. Мельников, В.И. Спесивцев. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995.-198 с.
3. Э.М. Мовсум-заде, Б.Н. Мастобаев, Ю.Б. Мастобаев, М.Э. Мовсум-Заде. Морская нефть. Развитие технологий освоения морских арктических месторождений нефти и газа / под ред. А.М. Шаммазова. - СПб.: Недра, 2008. - 304 с.
4. G.W. Timco and M.E. Johnston. Caisson Structures in the Beaufort Sea 1982-1990: Characteristics, Instrumentation and Ice Loads. Technical report [электронный ресурс] // NRC Canadian Hydraulics Centre. 2002. Ноябрь. URL: ftp://ftp2.chc.nrc.ca/CRTreports/PERD/Caisson_Ice_Loads_02.pdf (дата обращения: 15.04.2010).
5. Э.М. Мовсум-заде, Б.Н. Мастобаев, Ю.Б. Мастобаев, М.Э. Мовсум-Заде. Морская нефть. Развитие технических средств и технологий / под ред. А.М. Шаммазова. - СПб.: Недра, 2005. -240 с.
6. B.Wright and Associates Ltd. Full scale experience with Kulluk stationkeeping operations in pack ice [электронный ресурс] // NRC Canadian Hydraulics Centre. 2000. Июль. URL: ftp://ftp2.chc.nrc.ca/CRTreports/PERD/Kulluk_00.pdf (дата обращения: 10.05.2010).
7. United States patent: Offshore drilling and/or production system [электронный ресурс] // Патенты в открытом доступе Freepatentsonline. Номер патента: 4746245. Дата регистрации патента: 28.02.1986. URL: <http://www.freepatentsonline.com/4746245.html> (дата обращения: 20.04.2010).
8. VSL floating concrete structures. Examples from practice [электронный ресурс] // VSL INTERNATIONAL LTD., Berne, Switzerland. 1992. URL: http://www.vsl.net/Portals/0/vsl_techreports/PT_Floating_Concrete_Structures.pdf (дата обращения: 20.05.2010).

Сведения об авторе

Добряков И.С., аспирант, Мурманский государственный технический университет.
946-04-29, e-mail: dobryakov-i-s@list.ru

ОАО «Сибнац», инженер, тел.: 8-919-

Добряков I.S., graduate student of Murmansk State Technical University, engineer at Siberian Scientific Analytical Centre "SibNats", phone: 8-919-946-04-29, e-mail: dobryakov-i-s@list.ru