

Выбор наиболее оптимального способа сооружения оснований морских нефтегазовых сооружений

Щеглеватых Вероника Сергеевна, бакалавр

Городников Олег Александрович, старший преподаватель

ФБГОУ ВО «Владивостокский государственный университет»

Россия. Владивосток

Кафедра транспортных процессов и технологий

E-mail: shgveronika@mail.ru; Тел. 89084591713

ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, Россия, 690014

Аннотация

Проблема освоения российского шельфа возникла в 80-х годах в связи с падением добычи углеводородного сырья на суше. Безальтернативным вариантом компенсации падения стало развитие добычи нефти и газа на континентальном шельфе. Развитие добычи и разработка новых месторождений требуют учитывать сложные условия, в которых проводятся работы, также производить выбор сопутствующего оборудования.

Ключевые слова и словосочетания: МНГС, российский шельф, добыча нефти и газа, буровые платформы, гидротехнические сооружения.

Введение

Ледовые воздействия на платформу определяются действием ровных ледяных полей толщиной до 1,7 м, слоеного льда толщиной до 4 м и торосистых образований с толщиной консолидированной части до 2,8 м. Для некоторых вариантов конструкций гравитационных платформ величины экстремальных ледовых нагрузок оцениваются величиной 600 МН.

Анализ мирового опыта проектирования и строительства МНГС позволяет вывести некоторые общие рекомендации по выбору конструкций опорных блоков платформ и их основных элементов, применимых для условий российского шельфа.

В настоящее время можно выделить четыре основных типа опорных блоков-платформ:

- кессон с развитым фундаментным блоком, имеющим объемы для хранения добытого углеводородного сырья;
- монокон - фундамент, который связан с верхним строением единой объемной колонной;
- многоколонный, у которого колонны располагаются на едином фундаментном блоке;
- ферменного типа, так называемые «легкие конструкции».

Выбор того или иного типа конструкции опорных блоков МНГС зависит от многих факторов, среди которых наиболее существенными являются следующие:

1. Принципиальная схема разработки месторождения, технология добычи и транспортировки углеводородов.
2. Природные условия в районе установки платформы.
3. Условия изготовления и транспортировки платформы.

Актуальность и цель исследования

Очевидно, что одной из центральных проблем обеспечения надежной и безопасной работы МНГС является проблема проектирования и возведения надежной конструкции фундаментного блока.

Актуальность заключается в том, что фундаментный блок должен обеспечивать прочность и устойчивость (на сдвиг и опрокидывание) платформ при всех природных воздействиях, включая экстремальные случаи.

В отличие от речных гидротехнических сооружений, проектируемых в основном на статические нагрузки, морские гидротехнические сооружения испытывают, кроме статических, значительные динамические нагрузки, часто имеющие циклический характер.

Дополнительной особенностью взаимодействия МНГС с основанием является значительный эксцентриситет приложения равнодействующей нагрузок относительно центра основания. Такая ситуация может вызвать значительные горизонтальные перемещения и неравномерные осадки, которые могут привести к предаварийной ситуации и невозможности дальнейшей нормальной эксплуатации платформы.

При заглублении опорного блока в основание возникают силы взаимодействия боковых поверхностей фундамента, а также специальных устройств (стенок, ребер) с грунтом, которые необходимо учитывать при расчетах устойчивости платформ и прочности конструкции фундамента. В простейшем случае эти силы могут рассматриваться в рамках обычных представлений об активном и пассивном давлении грунта.

В связи с наличием морских течений, в том числе и глубоководных, скорости которых достигают 3 м/с, возможен размыв грунтов морского дна, находящихся в непосредственной близости к фундаментному блоку. Явление размыва дна значительно интенсифицируется при совместном действии волнения и течений. Появление воронок размыва приводит к снижению несущей способности основания. Не исключается и размыв грунта под подошвой фундаментной плиты. Конструкция фундаментного блока и специальные мероприятия должны обеспечить отсутствие размывов морского дна у опор МНГС или их минимизировать.

В соответствии с действующими нормативными документами и существующей практикой отечественного проектирования гидротехнических сооружений для расчетов системы «гидротехническое сооружение – основание» проводится схематизация основания с выделением инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и расчетных грунтовых элементов (РГЭ).

При этом расчетная геомеханическая модель (схема) основания представляет собой совокупность расчетных механических моделей, характеризующих выделенные РГЭ, которые в свою очередь привязаны к совокупности ИГЭ.

Таким образом, в соответствии с отмеченными особенностями взаимодействия фундаментных блоков МНГС с грунтами морского дна, при проектировании платформ расчетами должны быть обеспечены:

- устойчивость сооружения по схемам плоского сдвига (по контакту фундамента с грунтом или по слабому слою в основании) и глубинного сдвига (с выпором);
- недопущение явления «отрыва» при большом эксцентриситете равнодействующей нагрузок относительно центра площади опирания;
- устойчивость при больших смещениях и кренах в результате динамического разжижения грунтов;
- предотвращение размывов поверхности морского дна у платформы морским течением или волнами при малых глубинах размещения МНГС.

Проектирование свайных фундаментов для гидротехнических сооружений на шельфе имеет ряд особенностей, не учитываемых в полной мере действующим в настоящее время нормативным документом.

Для оценки условий установки платформы с вдавливанием в грунт ребристой конструкции используются рекомендации российских и зарубежных норм, предусматривающие сопоставление сил сопротивления вдавливанию с весом платформы в момент ее установки на грунт.

Конструкция опорного блока гравитационной платформы определяется как из расчетов несущей способности основания платформы, так и из прочностных расчетов элементов фундаментной части платформы, взаимодействующих с грунтом.

Методы исследования

Классификация нагрузок и выбор их сочетаний

При классификации нагрузок как по российским СНИП, так и зарубежным нормативам (BS, DNV и др.), учитываются критерии изменчивости нагрузок во времени, обусловленные природой их возникновения. Таким образом, классификация нагрузок в целом основана на разделении их по времени действия и причинам возникновения.

Согласно DNV при проектировании платформ должны учитываться нагрузки, относящиеся к следующим категориям:

- постоянные (P);
- переменные (L);
- нагрузки от деформаций (D);
- нагрузки окружающей среды (E);
- аварийные (A).

В российской практике проектирования нагрузки классифицируются по: критерию изменчивости во времени и подразделяются на постоянные, переменные (длительные и кратковременные) и особые.

Нагрузка от воздействия льда при его наползании на коническую опору включает компоненты от разрушения льда при изгибе и от веса нагромождения льда на поверхности конструкции.

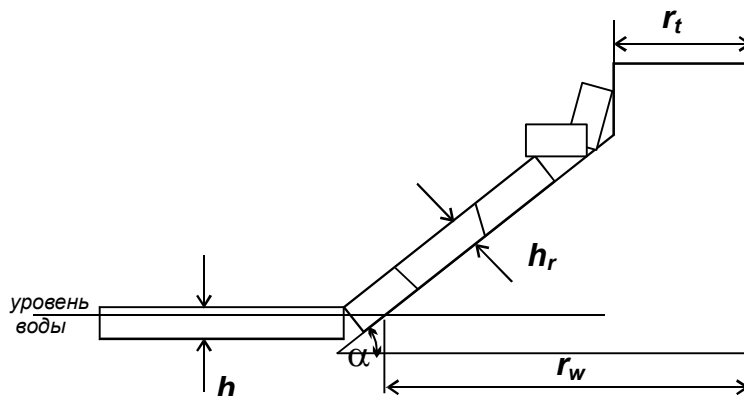


Рис.1. Нагрузка от наползающего льда

h – толщина ровного ледяного поля, наслоенного льда или консолидированной части;

h_r – толщина нагромождения на ледорезной части сооружения. В случае отсутствия опытных данных допускается принимать толщину нагромождения равной толщине консолидированного слоя;

γ_i – удельный вес льда;

α – угол наклона конической поверхности к горизонту;

r, r_t – радиус конструкции на уровне воды и в верхней части конуса соответственно.

Расчет динамических нагрузок

Динамическому расчету подлежат опоры цилиндрической формы, находящиеся в зоне дрейфующего ровного или наслоенного льда. В результате расчетов определяются максимальные значения усилий, перемещений и перегрузок в сечениях конструкции.

Расчетная схема должна обеспечивать учет механизма возникновения автоколебаний при взаимодействии конструкции с движущимся ледяным полем.

Математическая модель взаимодействия ледяного поля с конструкцией может быть основана на учете сухого трения, имитирующего разрушение льда по контакту за счет дробления.

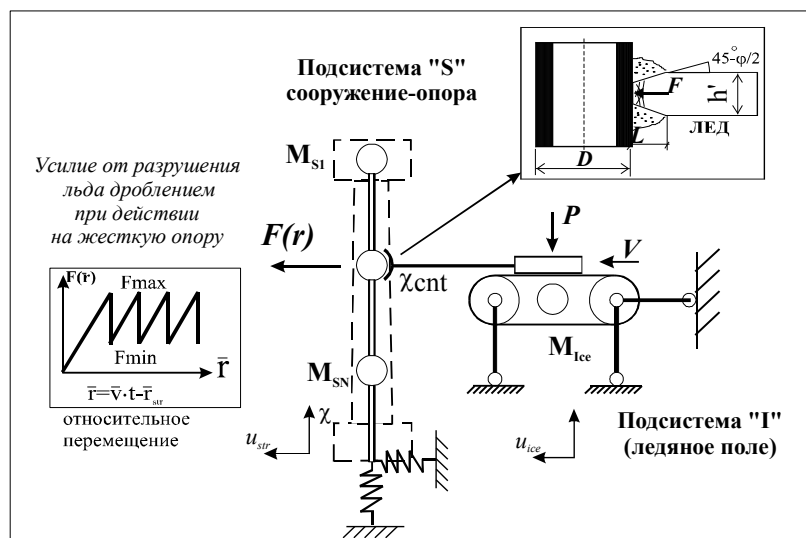


Рис.2. Модель взаимодействия ледяного поля с конструкцией

Ледовая нагрузка имеет пилообразный характер в виде периодической функции, зависящей от относительного смещения передней кромки льда и конструкции.

Одной из наиболее часто применяемых конструкций морских ледостойких платформ является конструкция с развитым опорным блоком, взаимодействующая с грунтом, как по подошве, так и по боковой поверхности. Наличие на месте установки сооружения слабых грунтов часто приводит к необходимости заглубления фундаментных блоков в грунтовое основание на значительную глубину (до 6-7). Давление грунта на стенки опорного блока как в состоянии покоя, так и в предельном состоянии представляет интерес, поскольку должно учитываться при анализе устойчивости МНГС в расчетах по первой группе предельных состояний при любом сочетании нагрузок. Проблема взаимодействия боковой поверхности опорного блока с грунтом усложняется в случае, когда основание опорного блока снабжено специальными ребрами, предназначенными для повышения сопротивления фундаментного блока сдвигающим нагрузкам. При наличии сдвигающих нагрузок давление грунта на стенке опорного блока, направленное в сторону действия сдвигающей нагрузки, является активным давлением, а направленное в противоположную сторону - пассивным давлением. Максимальных значений эти давления достигают в предельном состоянии при исчерпании несущей способности основания. Следует отметить, что до настоящего времени боковое давление грунта не исследовалось применительно к фундаментным конструкциям МНГС.

Перед тем как устанавливать гравитационный опорный блок происходит подготовка площадки под фундамент, вырывают котлован на глубину от 3 до 5 метров и засыпают его на 1,5- 2 метра пескогравийной смесью и оставляют его на 1 год. В течение года площадка подвергается воздействию подводных течений, гравитации и т.д. После этого производят операции по разведке дна и установке кессонного основания.

Кессон предназначен для размещения на нем верхнего строения, а также хранения товарной нефти: выполнен из стальных двойных конструкций с зазором, заполненным бетоном, создающим совместно со стальными переборками эффект композита сталь-бетон; бетон придает конструкции дополнительную прочность и выполняет роль балласта; ледовая зона кессона выполнена из плакированной стали толщиной 42 мм для защиты от коррозионно-эрозионных разрушений; танки-нефтехранилища оснащены безопасной

автоматической системой мойки, зачистки и дегазации; внутренние и наружные поверхности кессона защищены от электрохимической коррозии.

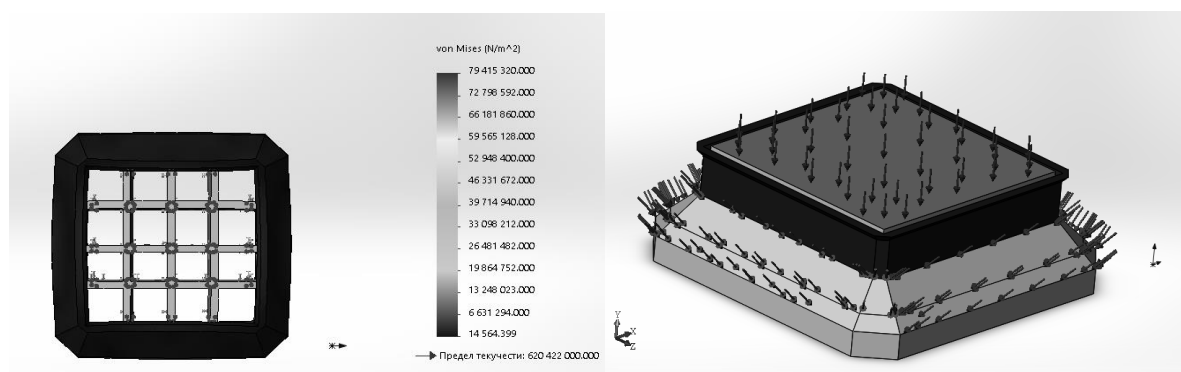


Рис.3. Результаты нагрузки на поперечные и продольные коффердамы и ледовые нагрузки от верхнего слоя

Система контроля включает:

- инклинометр используется для измерения наклонов кессона;
- грунтовый динамометр используется для измерения нагрузки на грунт;
- преобразователь давления (пьезометр) используется для измерения и оценки возможного повышения избыточного давления в грунтах от динамических горизонтальных нагрузок;
- акселерометр используется для определения сейсмических активностей вокруг платформы;
- датчик деформации измеряет ледовые нагрузки на кессон.

После установки платформы на грунт производят засыпку пустот, а после на расстоянии от 25 до 30 метров от кессона устанавливают берму (полосу, состоящую из плотных мешков наполненных песком или скалистым грунтам, вес мешка от 400 до 900 кг) высота, которой достигает трех метров.

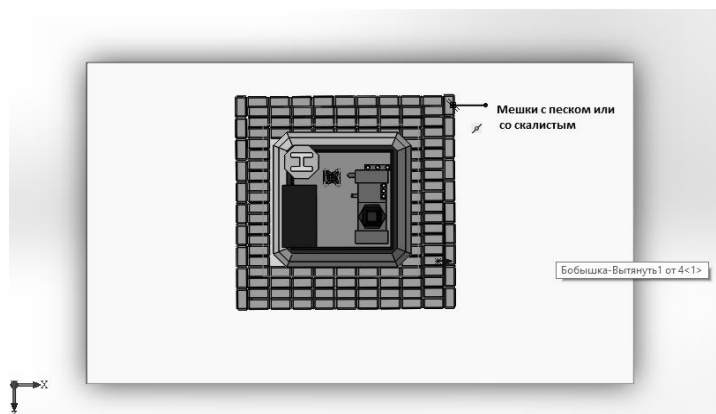


Рис.4. Полоса из мешков с грунтом вокруг основания МНГС (вид сверху)

Полученные результаты

Рынок средств освоения шельфовых месторождений может быть поделен на два сегмента по функциональному принципу: на разведывательные и добычные установки.

Сейчас в оффшорном бурении задействовано более 8000 добычных буровых платформ, которые можно разделить на два класса: плавучие морские буровые установки и стационарные (фиксированные) морские буровые установки.

Морские фиксированные платформы составляют основные добывающие мощности на сегодняшний день, что объясняется сравнительно более дешевым и простым способом их строительства и установки. Упрощенный вариант стационарной морской буровой установки подразумевает использование стального каркасного основания и называется «jacket» или «несущая структура».

Морские буровые платформы с железобетонным основанием просто укладываются на дно и не требуют дополнительных креплений. Чаще всего данный вид МБП используется так же на мелководных месторождениях (однако, сейчас есть примеры установки платформ на глубинах более 400 м в Норвегии – платформа «Troll A»). Использование фиксированных морских буровых платформ оправдано на месторождениях с доказанными резервами углеводородов.

Использование новых дизайнерских разработок типа «SPAR» (платформа, вертикально «поддерживаемая» на поверхности с помощью плавучих камер и в классическом варианте имеющая форму прямого кругового цилиндра) постепенно получает все более широкое применение. Мексиканский залив пока и остается основным местом применения данной буровой структуры, однако, уже сейчас рассматриваются варианты использования SPAR в жестких условиях северных морей.

Хотя процессы международной интеграции несколько снижают степень протекционизма, до сих пор используются различные механизмы льготного кредитования и субсидирования отрасли для привлечения новых заказов на местные предприятия, как для обеспечения потребностей внутреннего рынка, так и на международной арене.

Приоритеты в модернизации отдаются:

Во-первых, морским стационарным платформам для работы в сложных климатических условиях с глубиной моря свыше 120 м и ППБУ пятого поколения для ведения работ на глубинах свыше 3000 м.

Во-вторых, современную конъюнктуру рынка строительства бурового флота можно оценить как весьма благоприятную. Перспективы строительства новых буровых платформ обусловлены позитивными ожиданиями операторов рынка, недостатками действующих мощностей и освоением новых морских нефтегазоносных провинций.

Вывод

1. Во многих случаях гравитационные конструкции опорных блоков являются предпочтительными для условий российского шельфа.

2. На основе анализа и сопоставления требований российских нормативных документов по проектированию гидротехнических сооружений и зарубежных нормативов по проектированию МНГС установлено, что в целом требования российских нормативов обеспечивают необходимый уровень надежности и безопасности платформ.

1. Алексеев Ю.Н. и др. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа/ Ю.Н.Алексеев, В.П.Афанасьев, О.Е.Литонов, М.Н.Мансуров, Панов В.В., Трусков П.А. Гидрометеиздат. СПб. 2018. – 282 с.

2. Беккер А.Т., Перепелица А.Н., Уварова Т.Э. Вероятностные аспекты расчета гидротехнических сооружений на ледовые воздействия/ Матер. конф. и совещ. по гидротехнике: Исследование влияния сооружений гидроузлов на ледовый режим рек и окружающую среду. Л.: Энергоиздат. 2010. С.124-129.

3. Беллендир Е.Н. и др. Исследования по обоснованию проектов сооружений на арктическом шельфе/ Е.Н.Беллендир, В.Б.Глаговский, Н.Ф.Кривоногова, Д.Д.Сапегин// Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2012. Т. 231. С. 287-296.

4. Беллендир Е.Н. и др. Обоснование проектирования стационарных сооружений на арктическом шельфе/ Е.Н.Беллендир, В.Б.Глаговский, Н.Ф.Кривоногова, Д.Д.Сапегин // Гидротехническое строительство. 1997. № 7. С. 31 – 35.
5. Гладков М.Г. Физико-механические свойства арктического льда// Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. 1997. Т.230. С.580-589.
6. Гольдин А.Л., Гладков М.Г. Определение ледовой нагрузки на элементы морских гидротехнических сооружений// Гидротехническое строительство. 2011. № 76. С.27-29.
7. Ростехнадзор России// Правила безопасности при разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе. ПБ 08-352-00. Москва. НПО ОБТ. 2001. С.10-30.