

ЛЕДОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАВИТАЦИОННЫЕ БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ

С.В. Леонтьева

Севастопольский национальный техниче-
ский университет, г. Севастополь,
бухта Стрелецкая, Студгородок

*Для условий Печерского моря выполнен ана-
лиз воздействия штормовых волн на гравита-
ционную буровую платформу. Обобщены ре-
зультаты исследований ледовых воздействий на
гравитационную буровую платформу.*

Введение. Суровость климата, а также большая динамичность вод северных райо-
нов обуславливает значительное воздейст-
вие окружающей среды на морские нефте-
газопромысловые комплексы (МНГПК) и
высокую стоимость их обустройства. Ми-
ровая практика эксплуатации МНГПК по-
казала, что экстремальные воздействия ок-
ружающей среды нередко влекут за собой
гибель десятков людей, а в случае аварий в
системе транспорта нефти с ее разливом -
экологические региональные катастрофы.
Поэтому МНГПК в таких районах должны
сооружаться в расчете на экстремальные
воздействия окружающей среды, достовер-
ность определения которых является ре-
шающим фактором обеспечения их надеж-
ности, с одной стороны, и огромной эконо-
мии средств, ввиду высокой стоимости
комплексов, с другой.

Не учет или необоснованное примене-
ние любого фактора может привести к за-
нижению расчетной суммарной нагрузки и
аварии сооружения, а в случае ее завыше-
ния увеличивается вероятность нецелесо-
образного использования капиталовложе-
ний. Расчеты показывают, что при увели-
чении только одной ледовой нагрузки в 2
раза стоимость ледостойкого основания
возрастает в 1,7 раза.

В связи с освоением многочисленных
нефтяных месторождений в полярных ши-
ротах, необходимо разрабатывать принци-
пиально новые конструкции буровых плат-
форм, удовлетворяющие вышеперечислен-
ным требованиям. Одна из таких конструк-
ций - ледостойкая буровая платформа
«Нерпа» - была спроектирована в ЦКБ "Ко-

ралл" для работ в районе Приразломного неф-
тяного месторождения (ПНМ). Ранее были
вычислены экстремальные волновые нагрузки
на платформу такого типа [1].

Целью настоящей работы является поста-
новка задачи исследования ледовых нагру-
зок.

Буровая платформа "Нерпа" имеет форму
конического многогранного конуса, что
обеспечивает устойчивость этой конструкции
при натиске дрейфующих льдов, толщина
которых может достигать 2...2.5 м.

**Ледовые нагрузки на шельфовые со-
оружения.** При создании платформ для ос-
воения крупнейших месторождений в аркти-
ческих районах ледовые нагрузки часто ока-
зываются определяющими и необходима
достоверная оценка их значений, возможных
в течение всего периода эксплуатации плат-
форм.

Характер и величина ледовой нагрузки за-
висят от многих факторов, часть из которых
характеризует лед, а часть - сооружение. Ле-
довая нагрузка определяется или видом де-
формации, разрушения и очищения льда пе-
ред сооружением или внешними движущими
силами. В обоих случаях величина нагрузки
не является постоянной во времени. Это осо-
бенно справедливо в случаях, когда скорость
льда достаточно велика, чтобы вызвать его
хрупкое разрушение. Тогда ледовая нагрузка
достигает пика, а затем быстро уменьшается
и начинает увеличиваться вновь. Традицион-
ным является определение максимальной
пиковой нагрузки и ее трактовка как квази-
статической расчетной величины.

Наиболее важными параметрами, оказы-
вающими влияние на ледовую нагрузку яв-
ляются:

- тип ледового образования;
- свойства льда;
- сценарий взаимодействия;
- геометрия сооружения;
- масштабный эффект.

Рассмотрим связь между различными па-
раметрами, влияющими на ледовую нагруз-
ку.

Свойства льда оказывают существенное
влияние на ледовую нагрузку. Наиболее
важным параметром является прочность
льда, поскольку ледовое давление не может
превысить прочность льда. Можно использо-
вать различные методы для вычисления ле-

довой нагрузки. Долгое время наиболее широко был распространен метод расчета нагрузки, основанный на прочности льда. Однако, теория механики разрушения, учитывающая коэффициент интенсивности напряжений, также может быть эффективно применена [2].

Наиболее простое описание прочности льда включает три параметра, определение которых возможно на основе лабораторных испытаний ледовых образцов: прочность на сжатие, прочность на растяжение и угол внутреннего трения. Для более точных вычислений требуется знание многих параметров, а соответственно и более сложная процедура тестирования.

Однако даже при рассмотрении только этих трех параметров возникает неопределенность, поскольку они зависят от ряда факторов. Наиболее часто используемым параметром является прочность на одноосное сжатие. Она зависит от внутренней структуры льда (зернистый или волокнистый лед), температуры, размера кристаллов, скорости деформации, направления сжатия; размера образца и т.д. Боковое сжатие оказывает существенное влияние на величину прочности - в частности, может приводить к увеличению прочности в несколько раз. В настоящее время опубликовано много работ по исследованию прочности льда [3].

Скорость деформации оказывает значительное влияние на механическое поведение льда. При рассмотрении взаимодействия льда с сооружением скорость деформации $\dot{\epsilon}$ обычно определяется как

$$\dot{\epsilon} = V/(2D)$$

где V - скорость льда, D - ширина сооружения.

При низкой скорости деформации лед может рассматриваться как пластичный материал, текучий при сжатии. Для того чтобы вызвать текучесть льда требуется очень небольшое напряжение. Прочность льда будет увеличиваться с увеличением скорости деформации. При высокой скорости деформации порядка 10^{-2} с^{-1} , лед можно считать хрупким материалом подобно стеклу или бетону. Максимальную прочность лед имеет на границе зон пластичного и хрупкого поведения в проме-

жуточной зоне, где скорость деформации имеет порядок 10^{-3} с^{-1} .

Прочность льда на растяжение часто является причиной хрупкого разрушения льда. Две группы независимых параметров определяют поведение хрупкого льда - свойства материала (например, коэффициент интенсивности напряжений) и размер и распределение трещин. Поэтому поверхность разрушения независимая от размера не может учитываться. При наличии в материале трещин однородного размера прочность разрушения однозначно определена, но при статистическом распределении размеров трещин, их характеристики различны. Поскольку размеры трещин статистически распределены, ледовые образцы одинаковой формы и разного размера имеют различную прочность. Чем больше размер образца, тем больше относительный объем (процентное содержание) трещин. С увеличением размера образца увеличивается число трещин содержащихся в нем и вероятность существования трещин большей длины. Соответственно прочность уменьшается.

Исследования влияния небольших воздушных пузырей на одноосную прочность теплого морского льда были проведены Франссоном и Стейном [3]. Образцы отбирались в Ботническом заливе, где соленость настолько низка, что влиянием объема рассола при оценке пористости возможно пренебречь. Пористость ледовых образцов варьировалась между 2% и 20% из-за наличия воздушных пузырьков сферической формы с характерным диаметром 1-3 мм. Опыты на сжатие были проведены в натуральных условиях с использованием образцов льда смешанной кристаллической структуры с различной степенью повреждения. Поэтому, данные о прочности имели существенный разброс. Кривая, описывающая верхнюю границу данных Франссона и Стейна, свидетельствует о снижении прочности на 50 % при увеличении пористости от 2% до 16%. В дальнейшем опыты по изучению влияния малых воздушных пузырьков и объема рассола были проведены многими исследователями. Опыты Ли Циуна (1995) были поставлены в лабораторных условиях на образцах взятых из Лиадуньского залива. Большинство опытов проводилось при диапазоне температур -2°C - -5°C . Согласно данным этих иссле-

дований при увеличении пористости от 2% до 16% происходит приблизительно 50% снижение прочности.

Обзор методов расчета ледовых нагрузок. Из-за использования различных сценариев при выводе эмпирических формул (например, типа ледовых образований и вида взаимодействия) возникает большой разброс в оценке ледовой нагрузки экспертами из различных стран и компаний. В недавнем прошлом было проведено три опроса, в которых экспертам из различных стран и компаний было предложено оценить ледовые нагрузки при одних и тех же исходных данных. Первый из них был осуществлен Сандерсоном (1988), последующие Шкинеком и др (1994) и Кроасдейлом (1997). Каждый из опросов свидетельствовал о существенных различиях в прогнозе ледовой нагрузки. Несмотря на 10-летний интервал между опросами, разброс оценок по-прежнему составлял 10-15 раз. Особо интересно, что оценки, основанные на трактовке данных крупномасштабных измерений нагрузки на функционирующие сооружения, отличаются в 2.5 раза, как по данным опроса, проведенного Шкинеком, так и Кроасдейлом.

Коржавиным была предложена общая формула вычисления ледовой силы:

$$P = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot b \cdot h \cdot q,$$

где k_1 - коэффициент поверхности; k_2 - контактный коэффициент; k_3 - коэффициент, зависящий от отношения ширины платформы к толщине льда; b - ширина платформы; h - толщина льда; q - сопротивление льда.

Однако в этой формуле известной величиной является только ширина платформы. Остальные величины точно определить нельзя. Коржавин представил эмпирическую формулу, но не установил зависимость между параметрами.

В работе P. Tryde главной целью было представить методику вычисления ледовой нагрузки и сравнить полученные данные с данными лабораторного эксперимента. Он исходит из того, что сила, действующая на наклонные стенки платформы может быть представлена как:

$$F = C_F \cdot F_{\max}$$

$$F_{\max} = r_c \cdot e \cdot d$$

$$C_F = f\left(\frac{E}{\rho \cdot U_c^2}; \frac{e}{d}; \frac{y}{e}; \varepsilon = \frac{r_b}{r_c}; \alpha; \mu\right)$$

где r_c - сжимающее давление льда; e - толщина льда; d - ширина конструкции; ρ - плотность льда; U_c - скорость льда; r_b - изгибное давление льда; α - угол наклона образующей конуса к горизонтале; μ - коэффициент трения; E - модуль продольной упругости.

Был проведен эксперимент, в котором использовалась искусственная модель льда. Можно отметить значительные расхождения данных, полученных путем эксперимента и теоретической разработки. Этому способствует ряд причин. Одной из них является невозможность установить соотношение между небольшими моделями испытания и реальным льдом, который создает нагрузку на платформу. Кроме того, даже различные испытания на небольших моделях льда показали разброс значений более чем в 10 раз.

Можно сделать 2 важных вывода:

- Ледовая нагрузка носит стохастический характер и только применение вероятностных методов может дать более или менее надежные результаты.
- Для развития вероятностных методов, необходимо знать корреляцию между различными параметрами, влияющими на нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнир В.М., Жемойдо Ю.Г., Железняк С.В. Волновые воздействия на ледостойкую буровую платформу пирамидальной формы. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Выпуск 1(6) Севастополь, 2003. С.188-202.
2. Palmer, A. (1991): Ice Forces and Ice Crushing. The 11th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), St. John's, Vol. I.
3. Kämäräinen, J. (1993): Studies in Ice Mechanics. Helsinki University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. Laboratory of Strength of Materials. Research Report No. 15, 1993. P.184