

УДК 624.042.43

Е.Л.Шушканова (асп. каф. МВТС), К.Н.Шхинек, д.ф.-м.н., проф.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЬДА С ПЛАВУЧИМИ ЗАЯКОРЕННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ С НАКЛОННЫМИ ГРАНЯМИ

В настоящее время на территории Российского арктического шельфа ведется или планируется в ближайшем будущем ряд проектов по освоению крупных нефтяных и газовых месторождений. Платформы, находящиеся в районах, где присутствует ледовый покров, подвергаются ледовым нагрузкам от ровного льда, гряд торосов и полей битого льда, и должны конструктивно существенно отличаться от сооружений, возводимых в свободных от льда областях.

Ледовые нагрузки на морские сооружения во многих случаях являются определяющим фактором в процессе проектирования, и конструктивная форма обычно выбирается таким образом, чтобы минимизировать ледовые нагрузки.

Можно выделить два основных типа сооружений, используемых для освоения месторождений нефти на шельфе: с вертикальными и с наклонными гранями. Главным преимуществом наклонных конструкций является то, что при контакте с ними лёд разрушается от изгиба, а не от сжатия, как при взаимодействии с вертикальными конструкциями. Так как прочность льда на изгиб меньше, чем на сжатие, следовательно, и ледовые нагрузки на наклонные сооружения должны быть меньше.

Одним из наиболее перспективных является Штокмановское месторождение, для освоения которого создан Российско-Американо-Финно-Норвежский консорциум. Из-за больших глубин, характерных для этого месторождения (более 300 м), и наличия льда в этом районе, основным из возможных вариантов сооружений является плавучее заякоренное сооружение с наклонными бортами в районе ватерлинии. Основными характерными особенностями такой конструкции являются: наклонность бортов, что должно обеспечить разрушение льда от изгиба, и возможность значительных горизонтальных смещений сооружения (система заякорения должна ограничивать горизонтальные смещения величинами порядка 20 м). Это выдвигает особые требования к расчету взаимодействия льда и конструкции, так как необходимо рассмотрение динамических эффектов и возможности возникновения резонанса. До настоящего времени динамика взаимодействия льда с наклонными плавучими сооружениями не исследовалась.

Ряд лабораторных и теоретических исследований, проведенных в течение последних лет, подтверждает эффективность сооружений с наклонными гранями. Однако экспериментально исследовались только жесткие конструкции, например, в экспериментах Шварца и Фредеркинга рассматривалось динамическое воздействие льда на неподвижные сооружения; а в теоретических работах ледовая нагрузка предполагалась квазистатической. Решение, полученное в данной работе - принципиально новое.

Учет динамики взаимодействия вызывает ряд особенностей: вследствие инерции ледовой пластины и обломков льда, лед не сможет свободно скользить по наклонной поверхности и общее движение льда будет сопровождаться как изгибом, так и сжатием пластины. Чем больше скорость движения льда, тем больше напряжение сжатия. В итоге, пластина может разрушиться от сжатия, а не от изгиба, что приведет к увеличению нагрузки. Еще значительнее динамические эффекты проявляются при возможности смещения сооружения.

Ледовые нагрузки зависят от целого ряда параметров, характеризующих как лед (толщина ледовой пластины, вид ледового образования, размер обломков льда, прочностные и деформационные характеристики льда, его плотность и пористость, внутреннее трение льда, коэффициент трения льда о лед и о сооружение), так и конструкцию (геометрия: угол наклона, длина откоса и его ширина, а также масса и жесткость) и т.д.

Целью работы является создание программы расчета ледовых нагрузок на плавучие заякоренные сооружения с наклонными гранями, позволяющей определить величину ледовой нагрузки и перемещение конструкции в любой момент времени и проследить весь процесс взаимодействия конструкции с ледовой пластиной.

Рассматривается взаимодействие ледового поля с сооружением большой ширины, для которого считается приемлемой двумерная модель (для узких конструкций она дает заниженные значения разрушающей нагрузки).

Особенность работы заключается в следующем:

- рассматривается подвижная система: при взаимодействии возможно как горизонтальное перемещение сооружения, так и изменение угла наклона грани;
- учитывается изменение свойств льда в зависимости от скорости деформирования, которое может оказаться существенным;
- предполагается, что лед находится в сложноподвижном состоянии: изгиб, сжатие.

Увеличение нагрузки на ледовую балку при перемещении сквозь обломки льда, по поверхности конструкции значительно увеличивает сжимающие напряжения, и уменьшает возможность разрушения от изгиба. Учитывается также, возможность разрушения от сжатия и сдвигового разрушения, вероятного для льда большой толщины.

Процесс разрушения, как сжатием, так и изгибом рассматривается в упруго-вязкопластической постановке с постепенным развитием пластического шарнира в критических точках.

Исходными данными для программы являются:

- скорость льда;
- толщина ровного льда, его плотность;
- прочность льда на сжатие, на изгиб и на срез и их зависимость от скорости деформирования;
- геометрия сооружения: угол наклона грани;
- масса конструкции;
- жесткость конструкции;
- коэффициент трения льда о сооружение и др.

Результатом расчетов по программе является история нагружения: значения максимальных ледовых нагрузок на сооружение и величина колебаний конструкции в любой момент взаимодействия для различных значений исходных данных с учетом их взаимного влияния.