УДК 539.42

Оценка величины разрушающих усилий для арктических льдов

А.Г. Терехова, В.Н. Щербаков

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Для работы буровых платформ и прохода судов в арктических условиях большую проблему представляет воздействие на них ледяных полей. Ледяной покров рассматривается как упругие однородные изотропные плиты, лежащие на винклеровском основании [1]. Решались задачи изгиба полубесконечных и конечных ледяных плит различных размеров и толщин.

Величины разрушающих нагрузок и прогибы при цилиндрическом изгибе плит определялись из решений дифференциального уравнения четвертого порядка:

$$\frac{d^4M}{x^4} + 4\beta^4 M = \frac{d^2q}{x^2}, \tag{1}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k(1-\mu^2)}{4EJ}}, \tag{2}$$

где M – изгибающий момент, q – распределенная нагрузка, k – коэффициент основания, E, μ – модуль Юнга и коэффициент Пуассона, J – момент инерции, x – расстояние до точки приложения нагрузки.

Уравнение решалось для бесконечных и конечных плит. Для конечных плит решение осуществлялось методом начальных параметров А.Н.Крылова [1], при различных граничных условиях, см. рис.1.

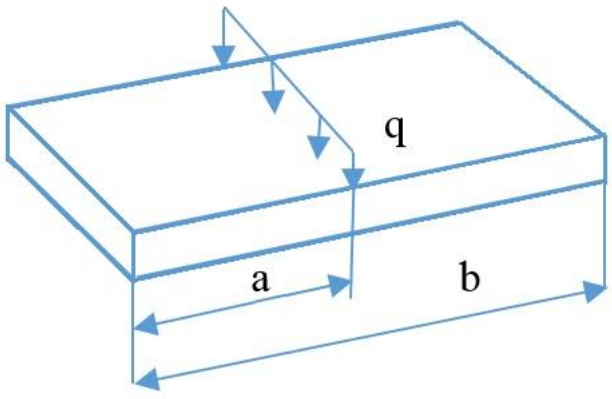

Рис. 1. Действие распределённый силы на конечную плиту.

Размер a, см. рис.1, изменялся от нуля до $b/2$. Получены величины нагрузок, приводящих к образованию трещин (разлома плит) для различной толщины льда от 1 до 6 метров. За критерий разрушения принималось предельное растягивающее напряжение при изгибе. Его экспериментальное значение для морского льда, а также величины модуля Юнга и коэффициента Пуассона взяты из работы [2].

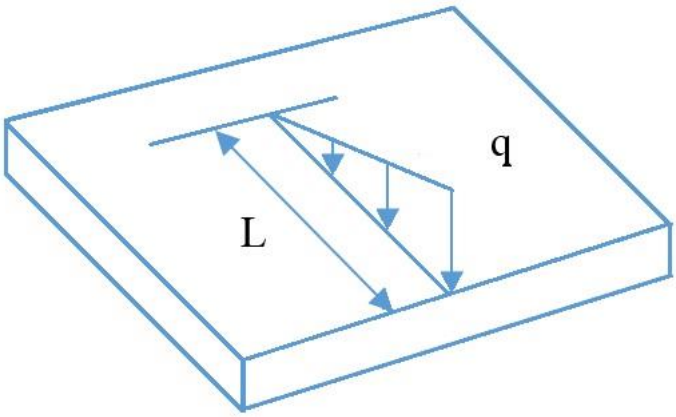

Рис. 2. Действие распределенной силы на полубесконечную плиту.

Расчет образования трещин в полубесконечной плите под действием распределенной нагрузки, изображенной на рис.2, осуществлялся решением уравнения

$$D\Delta v + \rho g v = q, \tag{3}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \tag{4}$$

где v – прогиб плиты, h – толщина льда, ρ – плотность воды, g – ускорение силы тяжести.

Решение уравнения осуществлялось с помощью вычислительного комплекса Abaqus.

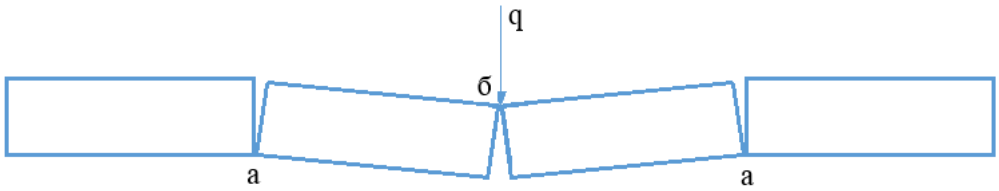

Рис. 3. Пролом льда под действием распределенной нагрузки q.

После разлома протяженных плит в результате образования трещин, несущая способность льда сохраняется за счет усилий в местах контакта при заклинивании льдин при повороте под действием нагрузки, см. рис.3. Для определения усилия, необходимого для полного пролома льда, решалась контактная задача взаимодействия обломков при их повороте и притапливании. За критерий разрушения в областях контакта а и б, см. рис.3, принималась предельная величина сжимающего напряжения для морского льда [2]. Пролом льда осуществлялся, когда в зонах контакта область разрушения(дробления) льда достигала размеров, необходимых для полного пролома. Показано, что это усилие во много раз превосходит усилие, необходимое для образования трещин, что хорошо согласуется с экспериментальными данными [2,3].

Литература

1. *Смирнов А.Ф., Александров А.В*. Сопротивление материалов. // М., «Высшая щкола», 1975. 479с.
2. *Ионов Б.П., Грамузов Е.М.*, Ледовая ходкость судов. // С.-П.: «Судостроение», 2013. 502с.
3. *Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А.* Проектирование ледоколов. // С.-П.: «Судостроение». 2013. 507с.