

УДК 551.32

П.В.Беляев (4 курс, каф. МВТС), К.Н.Шхинек, д.ф.-м.н., проф.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛЕДОВЫХ ОБЛОМКОВ НА РАЙЗЕР

В настоящее время в России ведется несколько проектов разработки нефтегазовых месторождений в северных морях, их всех объединяют сложности, связанные с тяжелой, быстроизменяющейся ледовой обстановкой. Наиболее перспективным методом загрузки нефтепродуктов в суда в данной ситуации является STL метод, позволяющий осуществить загрузку в море около платформы. При этом ледяное поле, взаимодействуя с судном, поставленным носом к направлению его движения, образует обломки, которые погружаясь под корпус судна оказывают воздействие на райзер, вызывая в нем усилия. В отличие от нагрузок от волн и течения, определение ледовых нагрузок на райзер нуждается в дополнительном исследовании.

Целью данной работы является:

1. Получить решение для внецентренного удара льдины о райзер;
2. Оценить среднее значение нагрузки, с учетом вероятности того, что удар может произойти в любой точке фронтальной стороны льдины.

Полученные расчетные зависимости справедливы как для жестких, так и для гибких райзеров. Приведем пример расчета для жесткого райзера.

Взаимодействие рассматриваем как точечный удар. Рассмотрим смещение точки контакта за короткий промежуток времени (угол φ мал), тогда смещение точки контакта z , m , составит

$$z = x - L\varphi, \quad (1)$$

где x – линейное смещение точки контакта, m ; L – расстояние от центра тяжести льдины до точки контакта; φ – угол поворота льдины относительно первоначального положения.

Из уравнений движения имеем следующие выражения

$$M\ddot{x} = -P, \quad (2)$$

$$I\ddot{\varphi} = PL, \quad (3)$$

где M – масса льдины (с учетом присоединенной массы), kg ; P – сила действующая со стороны райзера, kH/m ; I – момент инерции льдины относительно центра тяжести, kgm^2 .

Из уравнений (2) и (3) имеем выражение для ускорения точки контакта \ddot{z} , m/c^2 :

$$\ddot{z} = -P(1/M + L^2/I). \quad (4)$$

Представим силу P , действующую со стороны райзера на льдину, в следующем виде:

$$P = cf(z), \quad (5)$$

где c – постоянный параметр жесткости райзера, kH/m ; $f(z)$ – функция взаимосвязи между перемещением точки контакта и усилием P .

Для случая линейной зависимости $f(z)$ были получены следующие выражения для максимального смещения точки контакта z_{max} и усилия со стороны райзера P

$$z_{max} = V_0 \sqrt{MI / c(I + ML^2)}; \quad (6)$$

$$P = V_0 \sqrt{MIc / (I + ML^2)}, \quad (7)$$

где V_0 – начальная скорость льдины до контакта с райзером, m/c .

Для случая нелинейной зависимости $f(z) = z^m$ имеем

$$z_{max} = ((m + 1)V_0^2 MI / 2c(I + ML^2))^{1/(m+1)}; \quad (8)$$

$$P = c((m+1)V_0^2 MI / 2c(I + ML^2))^{m/(m+1)}. \quad (9)$$

Рассмотрев контакт на глубине 10 м льдины и стального райзера, длиной 50 м и проанализировав зависимость усилия P от смещения z , получили, что $c = 13220$ кН/м, $m = 3$.

К наибольшему усилию в райзере приводит центральный удар, но его вероятность мала. Таким образом, решив задачу, в предположении, что удар может произойти в произвольной точке фронтальной стороны льдины, получим математическое ожидание нагрузки.

Для этого перейдем к безразмерной координате \bar{y}

$$\bar{y} = 2L/a, \quad (10)$$

где a – длина фронтальной стороны, м.

Перейдем к безразмерной нагрузке. Для случая, когда $f(z) = z$

$$\beta = \sqrt{I/I + ML^2}, \quad (11)$$

где β – коэффициент влияния поворота (показывает отношение нагрузки P при ударе в произвольную точку фронтальной стороны льдины к нагрузке при центральном ударе).

Математическое ожидание коэффициента влияния поворота для линейного случая $f(z) = z$ составляет

$$M_\beta = (8\sqrt{I}/Ma^2)(\sqrt{I+1/4Ma^2} - \sqrt{I}). \quad (12)$$

Для случая $f(z) = z^m$ имеем следующие выражения

$$\beta = (I/I + ML^2)^{m/(m+1)}; \quad (13)$$

$$M_\beta = (m+1)(4\sqrt{I}/Ma^2)((I+1/4Ma^2)^{1/(m+1)} - I^{1/(m+1)}). \quad (14)$$

С помощью полученных функций математического ожидания строим графики зависимости математического ожидания от отношения фронтальной стороны льдины a к ее ширине b (рис. 1, 2).



Рис. 1. Зависимость математического ожидания M_β от отношения a/b ($P = cz$).

Рис. 2. Зависимость математического ожидания M_β от отношения a/b ($P = cz^m$).

Из анализа графиков, представленных на рис. 1,2 видно, что нагрузка снижается по сравнению с нагрузкой от центрального удара: в случае линейной зависимости P от смещения z $P = cz$ на 12-33%, в случае зависимости $P = cz^m$ на 17-44% соответственно для отношения a/b 0,5-5,0.

Можно сделать вывод, что расчет райзера на центральный удар с ледовыми обломками приводит к завышенным значениям нагрузок.