

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Копейка П.И.¹, к.ф-м.н., доц.,
Рогачко С.И.², д.т.н., проф., Панова И.Н.², инж.

¹ Одесская национальная морская академия

² Одесская государственная академия строительства и архитектуры

В процессе проектирования морских гидротехнических сооружений сквозного типа необходимо производить оценку вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение. К таким сооружениям относятся: причалы на свайном основании; рейдовые причалы; морские эстакады; морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения (МНГС).

В соответствии с рекомендациями ведомственных норм /1/, отметка низа верхнего строения МНГС над расчетным уровнем воды 1% обеспеченности назначается таким образом, чтобы избежать с ним контакта волн 0,1% обеспеченности в системе расчетного шторма повторяемостью один раз в 100 лет. Дополнительный инженерный запас практически исключает прямое силовое воздействие таких волн на низ палубы. Такой подход приводит к однозначному увеличению высоты опорных частей МНГС и к соответственному их удорожанию.

Примерно по такому же принципу назначаются отметки низа верхнего строения морских эстакад, которые возводятся при обустройстве морских промыслов углеводородов, расположенных в относительной близости от берегов. Что касается рейдовых причалов и причалов на защищенных акваториях, то отметки их надводных частей зависят от габаритов расчетных судов. Следует отметить, что высотное положение линии кордона причалов всех конструктивных типов в портах Азово-Черноморского бассейна имеют лимитированную отметку, равную 2,5 м над «0» порта. По этой причине верхнее строение причалов на свайном основании, возводимых на акваториях портов, могут подвергаться силовому воздействию дифрагированных волн, проникающих через ворота.

В настоящее время нормативный документ /2/ не содержит рекомендаций по оценке силового воздействия ветровых волн на верхнее строение перечисленных выше морских сооружений. Поэтому эта задача представляется весьма актуальной.

В данной работе представлен упрощенный подход при решении поставленной задачи. На горизонтальную плоскую поверхность, находящуюся на некотором расстоянии Δ над статическим уровнем воды при фиксированной глубине воды d , было рассмотрено воздействие регулярных волн (см. рис).

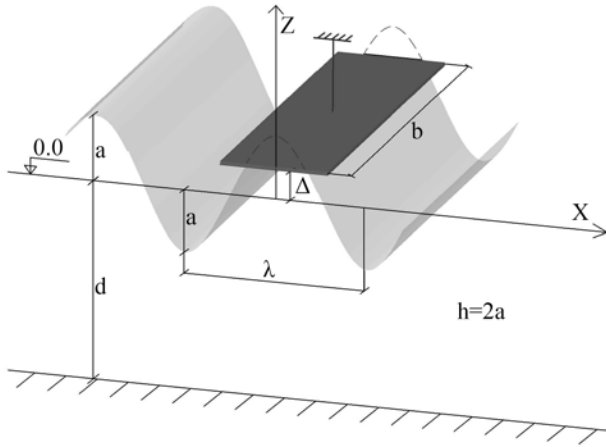


Рис. Схема воздействия гребня волны на горизонтальную преграду

Процесс взаимодействия гребня волны с горизонтальной преградой описывается системой уравнений гидродинамики в предположении, что жидкость идеальная, а движение частиц жидкости в волне безвихревое. Исходя из этого, потенциал скорости ϕ сводится к нахождению решения уравнения Лапласа во всей области, занятой жидкостью

$$\frac{\dot{a}^2 \phi}{\dot{a}\dot{o}^2} + \frac{\dot{a}^2 \phi}{\dot{a}z^2} = 0, \quad (1)$$

причем, $V_x = \frac{\dot{a}\phi}{\dot{a}\dot{o}}$, а $V_z = \frac{\dot{a}\phi}{\dot{a}z}$ и, кроме того, имеет место интеграл

Лагранжа:

$$\frac{\dot{a}\phi}{\dot{a}t} + \frac{1}{2}V^2 + gz + \frac{P}{\rho} = \chi(t), \quad (2)$$

где V_x, V_z - проекции скорости жидкости на оси координат x и z ;
 P - давление, Па;

ρ - плотность жидкости, кг/м³;

$\chi(t)$ - произвольная функция времени.

Кроме того, необходимо выполнить граничные условия на свободной поверхности: динамическое условие $(P)_{z=\xi} = P_0$ (атмосферное давление) и кинематическое

$$\left(\frac{\dot{a}^2 \varphi}{\dot{a} t^2} + g \frac{\ddot{a} \varphi}{\ddot{a} z}\right)_{z=0} = 0, \quad (3)$$

а также граничные условия на дне $\left(\frac{\ddot{a} \varphi}{\ddot{a} z}\right)_{z=-d} = 0$ и на горизонтальной плоской поверхности модели верхнего строения, находящейся на расстоянии Δ над статическим уровнем воды $\left(\frac{\ddot{a} \varphi}{\ddot{a} z}\right)_{z=\Delta} = 0$.

Тогда потенциал скорости $\varphi(x, z, t)$ при конечной глубине воды будет иметь следующий вид [3]:

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma \chi h k d} \chi h k (z + d) \sin(kx - \sigma t), \quad (4)$$

где a - амплитуда волны;

k и σ - соответственно волновое число и частота, связанные с длиной волны λ , м и периодом T , с.

Вертикальная составляющая V_z скорости V определяется из следующего выражения:

$$V_z = \frac{\ddot{a} \varphi}{\ddot{a} z} = \frac{agkshk(z+d)}{\sigma \chi h k d} * \sin(kx - \sigma t) \quad (5)$$

За четверть периода $T/4$ гребень волны проходит расстояние равное $h/2 = a$. Время силового воздействия гребня волны на горизонтальную преграду за четверть периода прямо пропорционально $(1 - \Delta/a)\pi/4$. Тогда силовое воздействие гребня регулярной волны на горизонтальную плоскую преграду можно оценить, используя теорему об изменении количества движения для массы жидкости, находящейся в гребне волны.

$$\theta_z - \theta_{z0} = \int_0^{(1-\frac{\Delta}{a})\frac{T}{4}} F dt, \quad (6)$$

где $\theta_z = m * V_z$, а $\theta_{z0} = 0$

Предполагая, что F равно максимальной вертикальной составляющей волновой нагрузки, можно записать:

$$\theta_z = F_{\max} \left(1 - \frac{\Delta}{a}\right) \frac{T}{4} \quad (7)$$

$$F_{\max} = \frac{\theta_z}{\left(1 - \frac{\Delta}{a}\right) 0.25T} = \frac{4mV_z}{\left(1 - \frac{\Delta}{a}\right) T}, \quad (8)$$

где m – масса жидкости, воздействующая на пластину.

При рассмотрении процесса взаимодействия гребня регулярной волны с горизонтальной жесткой пластиной, которая представляет собой верхнее строение причальных сооружений, влияние свайных опор на гидродинамику волны пренебрегалось.

Вывод

Полученная в настоящей работе расчетная зависимость (8) может использоваться лишь для приближенной оценки силового воздействия ветровых волн на верхнее строение морских сооружений, таких как причалы и эстакады на обтекаемых опорах.

Summary

Approximate solution of the task about force action of the regular wave to top part of sea constructions is presented in this paper.

Литература

1. ВСН 41-88. Проектирование ледостойких стационарных платформ. Миннефтепром СССР, М., 1988
2. СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), М., Госстройиздат, 2010.
3. Д.Д. Лаппо, С.С. Стрекалов, В.К. Завьялов Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения, Л., 1990