

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

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

<sup>1</sup> Одесская национальная морская академия

<sup>2</sup> 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  $\Delta$  над статическим уровнем воды при фиксированной глубине воды  $d$ , было рассмотрено воздействие регулярных волн (см. рис).

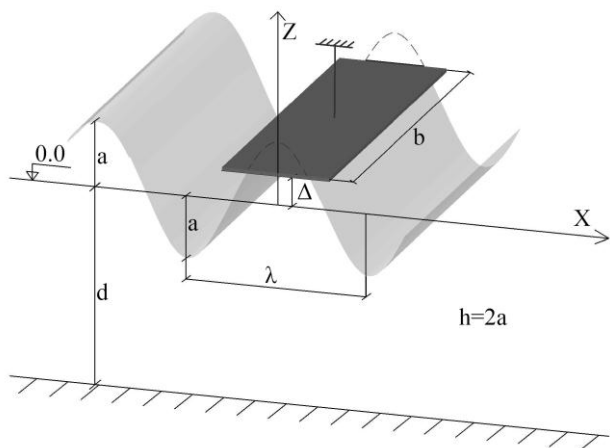


Рис. Схема воздействия гребня волны на горизонтальную преграду

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  $\varphi$  сводится к нахождению решения уравнения Лапласа во всей области, занятой жидкостью

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \bar{t}^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

причем,  $V_x = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}}$ , а  $V_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}$  и, кроме того, имеет место интеграл Лагранжа:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{t}} + \frac{1}{2} V^2 + gz + \frac{P}{\rho} = \chi(t), \quad (2)$$

где  $V_x, V_z$  - проекции скорости жидкости на оси координат  $x$  и  $z$ ;

$P$  - давление, Па;

$\rho$  - плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;

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

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

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

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  $\Delta$  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]:

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

где  $a$  - амплитуда волны;

$k$  и  $\sigma$  - соответственно волновое число и частота, связанные с длиной волны  $\lambda$ , 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