

UDC 626.01

**Vertical Hydrodynamic Loads on the Elements
of Hydrotechnical Constructions ***¹Sergey V. Leschenko²Konstantin N. Makarov

¹ Sochi State University, Russia
26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000
PhD student

E-mail: wortex24@rambler.ru

² Sochi State University, Russia
26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000
Dr. (Hydraulic engineering), Professor
E-mail: ktk99@mail.ru

Abstract. The mathematical model of propagating waves interaction with horizontal elements of sea hydraulic engineering constructions is offered. The model allows to calculate vertical loads of constructions and to provide their stability at wave influence.

Keywords: propagating waves; overlapping plate; crest of a wave; vertical speed; wave loading.

Введение. В нормативных документах России и других стран отсутствуют указания по расчету вертикальных гидродинамических волновых нагрузок на горизонтальные плиты перекрытий сквозных гидротехнических сооружений [1, 2]. Поэтому в них регламентируется условие отсутствие волнового воздействия снизу на такие элементы сооружений. Для этого отметки низа сооружений предписывается назначать выше отметки вершины волны 1% (в последних документах 0.1%) обеспеченности в системе расчетного шторма [1].

Это в ряде случаев приводит к назначению неоправданно завышенных отметок верха, например, сквозных причалов или подходных эстакад.

Таким образом, разработка математической модели и расчетной методики для определения вертикальных гидродинамических нагрузок на горизонтальные элементы морских гидротехнических сооружений представляется актуальной.

Задача рассматривается в следующей постановке. На горизонтальный элемент сооружения воздействует гребень бегущей (прогрессивной) волны без ее отражения от береговой границы – рис. 1 (эстакады и сквозные пирсы).

* Работа выполнена в рамках госбюджетной НИР № 7.3694.2011 Сочинского государственного университета.

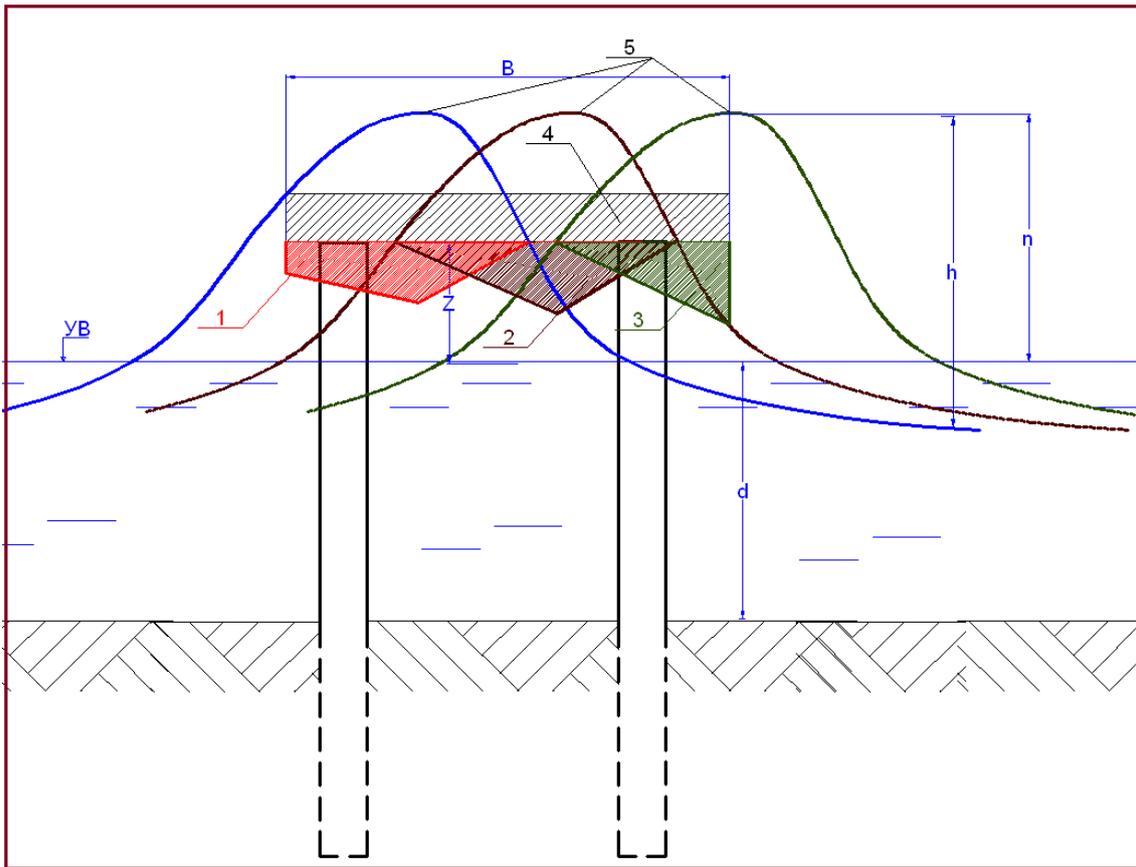


Рис. 1. Взаимодействие прогрессивной волны с эстакадой.

1, 2, 3 – эпюры гидродинамической волновой нагрузки при проходе передней, средней и задней частей гребня волны; 4 – плита перекрытия шириной B ; 5- последовательное положение профиля волны высотой h с возвышением гребня над расчетным уровнем $УВ$ на высоту n на глубине d ; Z – высота низа плиты перекрытия над расчетным уровнем моря

Из рис. 1 следует, что на нижнюю часть плиты перекрытия эстакады воздействует гребень волны, в котором частицы имеют вертикальные скорости. Тогда гидродинамическое воздействие на плиту представляется аналогичным удару водяной струи в сплошную поверхность – рис. 2.

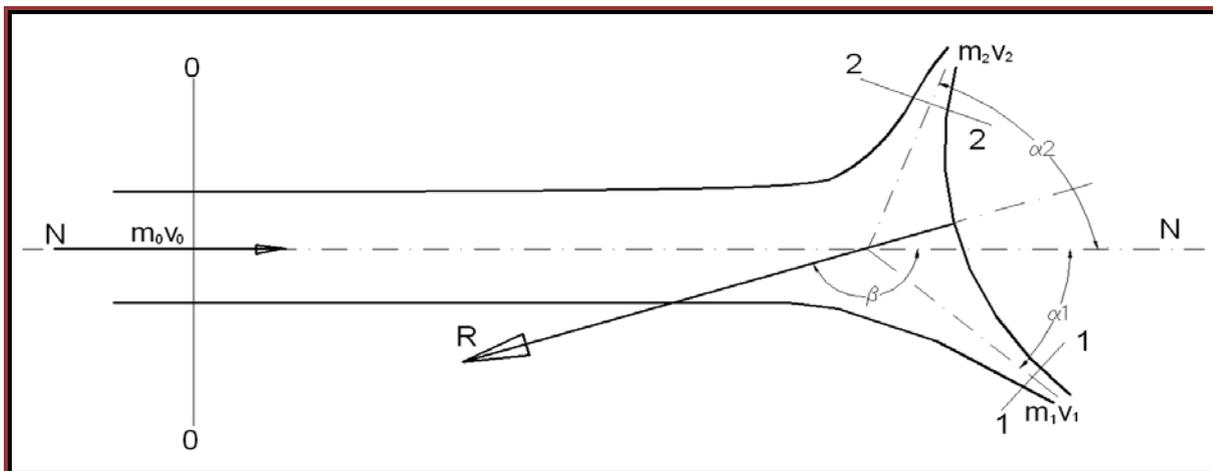


Рис. 2. Схема удара водяной струи о сплошную поверхность

Согласно [3], струя оказывает динамическое воздействие на преграду, находящуюся на её пути. При этом сила воздействия струи на преграду P равна R по значению и противоположна по направлению. В связи с искривлением линий тока

$$P = (0.92...0.95)\rho\omega_0 v_0^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, ω_0 – живое сечение струи в сечении 0-0, v_0 – скорость струи в сечении 0-0.

Таким образом, для определения линейной нагрузки (на единицу длины) от удара гребня волны в плиту перекрытия P_e необходимо найти ширину части гребня, воздействующей на плиту l_e и вертикальную скорость в этой части гребня волны w_e . Тогда согласно формуле (1):

$$P_e = \rho l_e w_e^2. \quad (2)$$

Для определения величины l_e в зависимости от возвышения гребня расчетной прогрессивной (бегущей) волны над расчетным уровнем моря η_e и высоты низа плиты перекрытия от этого уровня Z воспользуемся известным критерием максимальной крутизны морской волны: $h/\lambda = 0.142$, где h – высота волны, λ – длина волны. Как известно, Стоксом было доказано, что свободная поверхность в вершине волны с предельной крутизной образует угол в 120° [4, 5]. Тогда из простых геометрических построений можно получить:

$$l_e = 3.46(\eta_e - Z). \quad (3)$$

Возвышение гребня трансформированной несинусоидальной волны над расчетным уровнем η_e является важным параметром для проектирования гидротехнических сооружений. Эту характеристику обычно выражают в виде отношения η_e/h , которое возрастает с уменьшением относительной глубины водоема. В нормативных документах [1] приводится методика для определения величины η_e/h .

Для определения вертикальной скорости частиц в гребне бегущей волны w_e можно воспользоваться известными соотношениями линейной теории волн [4]. Согласно этой теории вертикальная W скорость определяется следующими соотношениями:

глубокая вода

$$W = \frac{\pi h}{T} e^{kz} \cos(\omega t - kx), \quad (4)$$

где h – высота волны, $k=2\pi/L$ – волновое число, z – в данном случае глубина от расчетного уровня, $\omega = 2\pi/T$ – круговая частота, t – время, x – расстояние, L – длина волны, T – период волны.

промежуточная глубина

$$W = \frac{h}{2} \omega \frac{shk(d+z)}{shkd} \cos(\omega t - kx). \quad (5)$$

Если в этих формулах принять $\cos(\omega t - kx) = 1$, то максимальная вертикальная скорость в гребне волны:

$$w_e = (\pi h/T)(shk(d+z)/shkd). \quad (6)$$

Таким образом, расчет вертикальной гидродинамической нагрузки от гребня бегущей волны на горизонтальный элемент сооружения может быть выполнен по формуле (2). При этом ширина части гребня волны, воздействующая на элемент сооружения (плиту перекрытия) определяется по формуле (3), а вертикальная скорость w_e – по формуле (6).

Если ширина горизонтального элемента $B < l_e$, то расчетная величина нагрузки должна быть скорректирована путем умножения на редуцирующий (понижающий) коэффициент

$$K_{ред} = 1 - (l_e - B)/l_e. \quad (7)$$

Анализ указанных формул показывает, что вертикальная волновая гидродинамическая нагрузка на горизонтальную плиту перекрытия зависит при прочих равных условиях от ширины плиты и возвышения ее низа над расчетным уровнем моря. Графики указанных зависимостей, рассчитанные по предложенной методике, приведены на рис. 3, 4.

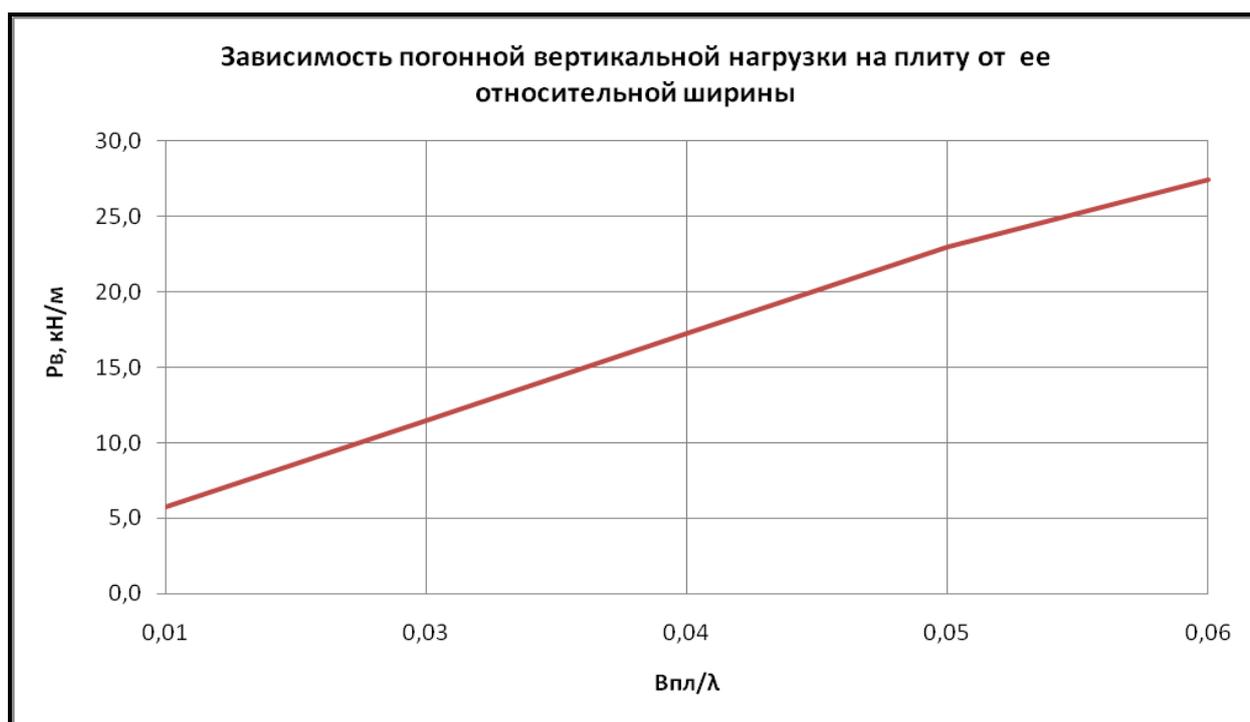


Рис. 3. Зависимость погонной вертикальной гидродинамической волновой нагрузки от бегущей волны на плиту перекрытия эстакады от ее относительной ширины



Рис. 4. Зависимость погонной вертикальной волновой гидродинамической нагрузки от бегущей волны на плиту перекрытия эстакады от ее относительного возвышения над расчетным уровнем моря

Заклучение. Таким образом, разработана математическая модель и расчетная методика для моделирования взаимодействия бегущих волн с горизонтальными элементами морских гидротехнических сооружений. В результате моделирования определяются вертикальные гидродинамические нагрузки на элементы сооружений, что позволяет более обоснованно назначать их высотные отметки и проектировать конструкции соединений опор и перекрытий.

Примечания:

1. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012.
2. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan. – The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2010.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебник для вузов. 4-е изд., доп. и перераб. Л.: Энергоатомиздат, 1982.
4. Ле Меоте Б. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
5. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. М., 1990.

УДК 626.01

Вертикальные гидродинамические нагрузки на элементы гидротехнических сооружений¹Сергей Владимирович Лещенко²Константин Николаевич Макаров

¹Сочинский государственный университет, Россия
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
аспирант

E-mail: wortex24@rambler.ru

²Сочинский государственный университет, Россия
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
Доктор технических наук, профессор

E-mail: ktk99@mail.ru

Аннотация. Предложена математическая модель взаимодействия бегущих волн с горизонтальными элементами морских гидротехнических сооружений. Модель позволяет рассчитать вертикальные нагрузки на сооружения и обеспечить их устойчивость при волновом воздействии.

Ключевые слова: бегущие волны; плита перекрытия; возвышение гребня волны; вертикальная скорость; волновая нагрузка.