

УДК 627.223.6

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.140259

## ВОЛНОВАЯ НАГРУЗКА НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СКВОЗНОГО ТИПА

© И. Н. Панова, С. И. Рогачко

В настоящей работе представлены результаты исследования вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение морских гидротехнических сооружений сквозного типа в глубоководной и мелководной зоне в зависимости от значения волнового числа и длины верхнего строения в направлении луча волны. Разработанная методика расчета волновой нагрузки рекомендуется для использования в нормативных документах

**Ключевые слова:** вертикальная составляющая волновой нагрузки, верхнее строение, клиренс, глубоководная, мелководная зона

### 1. Введение

Среди морских гидротехнических сооружений многочисленную группу составляют конструкции, подверженные прямому силовому воздействию ветровых волн. Это оградительные и берегозащитные сооружения, причалы на незащищенных акваториях, в том числе рейдовые, морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения (МНГС). Ныне действующий нормативный документ СНиП 2.06.04-82\* [1] и его актуализированная редакция [2] не содержит рекомендации по расчету волновых нагрузок на верхнее строение гидротехнических сооружений сквозного типа (рис. 1). Вследствие этого, отметка линии кордона рейдовых причалов назначается конструктивно [3], а отметка нижней части палубы МНГС принимается с большим запасом [4].

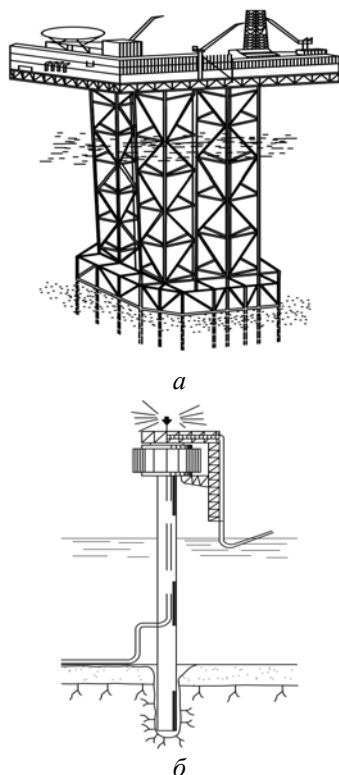


Рис. 1. Гидротехнические сооружения сквозного типа: а – нефтяная платформа; б – одноточечный рейдовый причал

### 2. Анализ последних источников и публикаций

Математические модели и расчетные методики определения вертикальных гидродинамических волновых нагрузок на горизонтальные элементы морских гидротехнических сооружений, изложены в работе ученых Сочинского государственного университета [5]. В Одесской государственной академии строительства и архитектуры была разработана и реализована программа исследований вертикальной составляющей волновой нагрузки, действующей на верхнее строение сооружений сквозного типа, которая включала экспериментальную часть с последующей обработкой результатов опытов [6, 7]. В итоге были получены эмпирические и теоретические зависимости по расчету вертикальной составляющей волновой нагрузки в условиях глубокой воды при значениях волнового числа более 1 [8, 9]. Однако для расчета волновой нагрузки необходим более широкий диапазон значения волнового числа, например, менее 1, а также наличие расчетных зависимостей для условий относительного мелководья.

### 3. Цели и задачи исследования

Цель исследования – разработка методик определения вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение морских гидротехнических сооружений сквозного типа, расположенных как в глубоководной, так и в мелководной зоне при различных значениях волнового числа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определение расчетных зависимостей для глубоководной зоны при значении волнового числа менее 1.
2. Разработка методики определения волновой нагрузки для мелководной зоны при любом значении волнового числа.
3. Использование разработанных методик для практических расчетов и сравнение полученных результатов.

### 4. Исследование вертикальной составляющей волновой нагрузки и методика ее определения

Исследование волновых нагрузок должно базироваться на волновых теориях в соответствии с об-

ластью их рационального использования [10, 11]. Так, в условиях глубокой воды наиболее точные результаты расчетов дает теория волн малой амплитуды. Данная теория предполагает, что двумерные регулярные волны распространяются над непроницаемым горизонтальным дном при конечной глубине, которая больше половины длины волны. Используя данную теорию и результаты эксперимента [8, 9], были получены расчетные зависимости для определения вертикальной составляющей линейной волновой нагрузки в условиях глубокой воды  $P_z$ , кН/м (рис. 2) при значениях волнового числа  $k > 1$  (1), (2), (3) и при  $k < 1$  (4), (5), (6):

$$l \leq \lambda/2 \quad P_z = \frac{h\lambda}{1,2\pi} l \rho g k_p = 2,6\lambda h l \rho k_p \quad (1)$$

$$\lambda/2 < l \leq \lambda \quad P_z = \frac{h\lambda}{1,2\pi} l' \rho g k_p = 2,6\lambda h l' \rho k_p$$

$$l' = \lambda/2 \quad (2)$$

$$l > \lambda \quad P_z = \frac{h\lambda}{1,2\pi} l' \rho g k_p = 2,6\lambda h l' \rho k_p$$

$$l' = l/2 \quad (3)$$

$$l \leq \lambda/2 \quad P_z = 2,6\lambda h l \rho k_p \sin(k^2 \pi / 2) \quad (4)$$

$$\lambda/2 < l \leq \lambda \quad P_z = 2,6\lambda h l' \rho k_p \sin(k^2 \pi / 2)$$

$$l' = \lambda/2 \quad (5)$$

$$l > \lambda \quad P_z = 2,6\lambda h l' \rho k_p \sin(k^2 \pi / 2) \quad l' = l/2, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;  $h$  – высота волны 1 % обеспеченности в системе расчетного шторма, м;  $\rho$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина верхнего строения в направлении луча волны, м;  $\Delta$  – клиренс верхнего строения – расстояние от спокойного уровня воды до низа верхнего строения, м;  $a$  – амплитуда волны, м;  $l'$  – приведенная длина верхнего строения в направлении луча волны, м;  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число;  $k_p$  – коэффициент, определяемый по формуле (7):

$$k_p = -58,3693 \left(\frac{\Delta}{a}\right)^3 + 123,9126 \left(\frac{\Delta}{a}\right)^2 - 87,9252 \frac{\Delta}{a} + 21,5155 \quad (7)$$

Полученные расчетные зависимости (1)–(7) целесообразно использовать для диапазона крутизны волны  $h/\lambda = 1/18 \div 1/32$  в условиях глубокой воды при отношении клиренса к амплитуде  $\Delta/a = 0,5 \div 0,93$ .

В условиях мелководья, когда глубина составляет менее половины длины волны, целесообразно использование теории Стокса или теории волн конечной амплитуды [12]. В отличие от глубоководной

зоны, в мелководной – дно влияет на характер волнения. При этом трехмерные волны преобразуются в двумерные, а круговые движения частиц преобразуются в эллиптические. Наиболее точно этот волновой процесс описывается уравнением Стокса (8) [12]

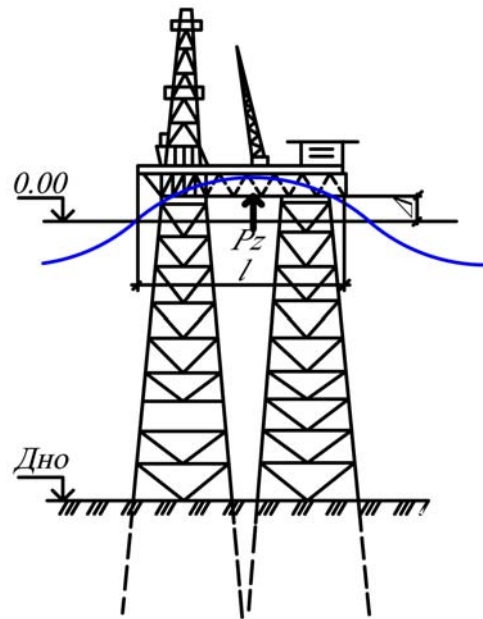


Рис. 2. Расчетная схема для определения вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение гидротехнических сооружений

$$\eta = \frac{h}{2} \cos(kx - \omega t) = \frac{h}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{\pi h^2}{8\lambda} \frac{chkd(2 + ch2kd)}{sh^3 kd} \cos 2(kx - \omega t), \quad (8)$$

где  $\eta$  – возвышение водной поверхности относительно спокойного уровня воды, м;  $h$  – высота волны, м;  $\omega$  – частота волны ( $\omega = 2\pi/T$ );  $T$  – период волны, с;  $k$  – волновое число ( $k = 2\pi/\lambda$ );  $\lambda$  – длина волны, м.

Выполнив аналогичные исследования, приведенные в [8, 9], были получены расчетные зависимости для определения вертикальной составляющей линейной волновой нагрузки в условиях мелководья  $P_z$ , кН/м при значениях волнового числа  $k > 0,5$  (9, 10, 11), при  $k < 0,5$  (12)–(14)

$$l \leq \lambda/2 \quad P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h + A) l \rho g k_p \quad (9)$$

$$\lambda/2 < l \leq \lambda \quad P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h + A) l' \rho g k_p \quad l' = \lambda/2 \quad (10)$$

$$l > \lambda \quad P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h + A) l' \rho g k_p \quad l' = l/2 \quad (11)$$

$$l \leq \lambda/2$$

$$P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h \sin(\pi k^2 / 2) + A \sin(2\pi k^2)) l \rho g k_p \quad (12)$$

$$\lambda/2 < l \leq \lambda$$

$$P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h \sin(\pi k^2 / 2) + A \sin(2\pi k^2)) l' \rho g k_p$$

$$l' = \lambda/2 \quad (13)$$

$$l > \lambda$$

$$P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h \sin(\pi k^2 / 2) + A \sin(2\pi k^2)) l' \rho g k_p$$

$$l' = l/2, \quad (14)$$

где  $h, \lambda, l, l', \rho, k_p$  – то же, что в формулах (1) – (6),  $A$  – параметр, определяемый с помощью формулы (15)

$$A = \frac{\pi h^2 chkd(2 + ch2kd)}{8\lambda sh^3 kd} \quad (15)$$

В настоящей работе был выполнен пример расчета волновой нагрузки на верхнее строение рейдового причала сквозной конструкции для двух случаев:

**1 случай** – сооружение находилось в глубоководной зоне.

**Исходные данные:** расчетная высота волны  $h_1 = 5$  м; длина волны  $\lambda = 90$  м; глубина воды перед сооружением  $d = 50$  м; клиренс  $\Delta = 2,23$  м; длина верхнего строения в направлении луча волны  $l = 200$  м; плотность морской воды  $\rho = 1,02$  т/м<sup>3</sup>.

Решение

Проверялось условие  $d = 50 \text{ м} > \lambda/2 = 90/2 = 45$  м – следовательно, сооружение находилось в глубоководной зоне [1, 2].

Определялось волновое число  $k = 2\pi/\lambda = 2 \cdot 3,14/90 = 0,07 < 1$ .

Так как длина верхнего строения  $l = 200 \text{ м} > \lambda = 90$  м, применялись формулы (6) и (7) с учетом амплитуды волны  $a = h_{1\%}/2 = 5/2 = 2,5$  м; отношения  $\Delta/a = 2,23/2,5 = 0,89$  и приведенной длины верхнего строения  $l' = l/2 = 200/2 = 100$  м.

$$P_z = 2,6 \lambda h l' \rho k_p \sin(k^2 \pi / 2) =$$

$$= 2,6 \cdot 90 \cdot 5 \cdot 100 \cdot 1,02 \cdot 0,28 \cdot \sin(0,07^2 \cdot 180^\circ / 2) =$$

$$= 257,2 \text{ кН}$$

$$k_p = -58,3693 \left(\frac{\Delta}{a}\right)^3 + 123,9126 \left(\frac{\Delta}{a}\right)^2 -$$

$$-87,9252 \frac{\Delta}{a} + 21,5155 = 0,28.$$

**2 случай** – сооружение находилось в мелководной зоне.

**Исходные данные:** такие же, как в первом случае, кроме глубины,  $d = 30$  м.

Решение:

Проверялось условие  $d = 30 \text{ м} < \lambda/2 = 90/2 = 45$  м – следовательно, сооружение находилось в мелководной зоне [1, 2].

Определялось волновое число  $k = 2\pi/\lambda = 2 \cdot 3,14/90 = 0,07 < 0,5$  – следовательно, применялись формулы (14) и (15) с учетом  $k \cdot d = 0,07 \cdot 30 = 2,1$ .

$$P_z = \frac{\lambda}{1,2\pi} (h \sin(\pi k^2 / 2) + A \sin(2\pi k^2)) l' \rho g k_p =$$

$$= 90 / 1,2 \cdot 3,14 (5 \cdot \sin(180^\circ \cdot 0,07^2 / 2)) + 0,25x$$

$$x \sin(2 \cdot 180^\circ \cdot 0,07^2) = 100 \cdot 1,02 \cdot 9,81 \cdot 0,28 = 308,8 \text{ кН}$$

$$A = \frac{\pi h^2 chkd(2 + ch2kd)}{8\lambda sh^3 kd} =$$

$$= (3,14 \cdot 5^2 / 8 \cdot 90) (ch2,1(2 + ch2 \cdot 2,1) / sh^3 2,1) = 0,25$$

## 5. Результаты исследования

Согласно формуле (7) при значении  $\Delta/a = 0,9285$  коэффициент  $k_p$  близок к нулю и вертикальная составляющая волновой нагрузки в этом случае также практически равна нулю. Следовательно, в отличие от существующих рекомендаций [3] клиренс верхнего строения нефтяных платформ и рейдовых причалов сквозного типа можно назначать с меньшим запасом и с учетом волновой нагрузки от расчетной высоты волн 1 % обеспеченности в системе расчетного шторма.

## 6. Выводы

1. Были получены расчетные зависимости для определения вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение сооружений сквозного типа, расположенных в глубоководной зоне при значении волнового числа менее 1.

2. Была разработана методика расчета волновой нагрузки для условий относительного мелководья при различных значениях волнового числа.

3. Практические расчеты вертикальной составляющей волновой нагрузки, выполненные по разработанным методикам, показали, что в мелководной зоне волновая нагрузка больше, чем в глубоководной.

## Литература

1. СНиП 2.06.04-82\*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Москва: Стройиздат, 1995. 40 с.
2. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Москва, 2012. 111 с.
3. Свод правил. Проектирование морских ледостойких платформ. Часть I. Классификация, основные положения, требования к нагрузкам и воздействиям. Остойчивость. СП – 33 – 10100. Москва, 2001.
4. Рогачко С. И. Определение отметки низа верхнего строения морских нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2005. № 7. С. 15.
5. Лещенко С. В., Макаров К. Н. Методика расчета вертикальных гидродинамических волновых нагрузок на горизонтальные элементы морских гидротехнических сооружений // Гидротехника. 2013. № 2 (31). С. 20–25.

6. Панова И. Н. Экспериментальные исследования волновой нагрузки на верхнее строение гидротехнических сооружений // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2015. № 56. С. 177–180.
7. Рогачко С. И., Панова И. Н. Экспериментальные исследования волновых нагрузок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 1, № 7 (79). С. 10–16. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59889>
8. Панова И. Н. Влияние ветровых волн на верхнее строение морских гидротехнических сооружений: дис. ... канд. техн. наук. Одесса, 2016. 135 с.
9. Панова И. Н. Влияние ветровых волн на верхнее строение морских гидротехнических сооружений: автореф. ... канд. техн. наук. Одесса, 2016. 20 с.
10. Халфин И. Ш. Воздействие волн на морские нефтегазо-промысловые сооружения. Москва: Недра, 1990. 311 с.
11. Ле Меоте Б. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 367 с.
12. Дорофеев В. С., Рогачко С. И. Воздействие ветровых волн на гидротехнические сооружения. Одесса: ОГАСА, 2012. 224 с.

Дата надходження рукопису 05.06.2018

**Панова Ирина Николаевна**, кандидат технических наук, преподаватель высшей категории, Мореходный колледж технического флота Национального университета «Одесская морская академия», ул. Маразлиевская, 40/42, г. Одесса, Украина, 65014  
E-mail: panirina@meta.ua

**Рогачко Станислав Иванович**, доктор технических наук, профессор, кафедра морских и речных портов, сооружений континентального шельфа, Одесский национальный морской университет, ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029  
E-mail: office@onmu/odessa.ua

УДК 664.662:664

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.140256

## РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ПОЛІПШУВАЧА «СВІЖІСТЬ КСБ +» ДЛЯ ПОДОВЖЕННЯ СВІЖОСТІ БУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

© Т. О. Васильченко, О. А. Білик, Ю. В. Бондаренко, А. М. Грищенко

У статті розглянуто розроблення комплексного хлібопекарського поліпшувача «Свіжість КСБ +», до складу якого входить в якості функціональної основи концентрат сироватковий білковий сухий «КСБ-УФ-65», а активної частини – ферментний препарат Новаміл 1500 МГ, суха пшенична клейковина, яблучний пектин, мальтодекстрин, лецитин, аскорбінова кислота. Встановлено оптимальне дозування комплексного хлібопекарського поліпшувача «Свіжість КСБ +» в кількості 1,5 % до маси борошна, за якого подовжується свіжість не упакованих булочних виробів до 72 год.

**Ключові слова:** комплексний хлібопекарський поліпшувач, концентрат сироватковий білковий сухий «КСБ-УФ-65», булочні вироби, черствіння

### 1. Вступ

Хлібобулочні вироби користуються суттєвим попитом серед споживачів і представлені доволі різноманітним асортиментом, що задовольняє потреби усіх верств населення України [1]. Основним показником споживчих властивостей цих виробів є їх свіжість, оскільки свіжовипеченим хлібобулочним виробам притаманні виражені аромат і смак, еластична м'якушка, хрустка скоринка [2]. У процесі зберігання якість хлібобулочних виробів знижується, що пов'язано з черствінням та усиханням. Ці процеси залежать від рецептурних компонентів, способу гістоуведення, якості борошна, умов зберігання тощо [3].

Для забезпечення конкурентноспроможності продукції хлібопекарські підприємства переходять на прискорені технології, а саме – виключають операцію бродіння, яка триває від однієї до трьох годин, і вводять операцію відлежування тривалістю 20...30 хв. Це скорочує тривалість виробництва, але при цьому втрачаються споживчі властивості (аромат,

смак) та збільшується кришкуватість хлібобулочних виробів.

Для покращання споживчих властивостей виробники в більшості випадків використовують комплексні хлібопекарські поліпшувачі, які призначені для коректування хлібопекарських властивостей борошна, інтенсифікації процесу виробництва, покращання органолептичних і фізико-хімічних показників якості та подовження тривалості свіжості [4].

Тому актуальним напрямом наукових досліджень у технології хлібопечення є розробка нових комплексних хлібопекарських поліпшувачів направленої дії, які поряд з покращанням споживчих властивостей хлібобулочних виробів будуть покращувати їх харчову цінність.

### 2. Літературний огляд

Для інтенсифікації процесів виробництва хлібобулочних виробів та уповільнення процесу їх черс-