

УДК 629.563

А.С. Тертышникова, аспирант,**В.М. Кушнир, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: sherra1989@rambler.ru***ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ОПЫТОВОМ БАССЕЙНЕ СЕВНТУ***Определены основные параметры волновых возмущений, генерирование которых возможно в опытном бассейне СевНТУ.***Ключевые слова:** *опытный бассейн, волновые возмущения, параметры волнения.*

Опытный волновой бассейн СевНТУ предназначен для испытаний моделей судов и плавучих сооружений, а также для решения широкого круга задач, относящихся к области морских технологий: плавучесть, устойчивость и непотопляемость («статика») судов и плавучих сооружений; сопротивление движению; движители; качка; управляемость; специальные задачи проектирования и эксплуатации судов и плавучих сооружений новых типов; специальные задачи проектирования и эксплуатации судовых устройств, судовых систем и систем управления; специальные задачи прочности судов и плавучих сооружений.

Внешний вид опытового бассейна показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Опытный волновой бассейн СевНТУ

Основные размеры бассейна: длина 10 м, ширина 3 м, глубина 1,5 м. В бассейне используется пневматический волнопродуктор и решетчатый волногаситель, установленный в противоположном от волнопродуктора конце бассейна (рисунок 2).

Пневматический волнопродуктор может генерировать поверхностные волны с различными параметрами. Исследование их пространственно-временной структуры необходимо для последующего корректного построения моделей воздействия волн на различные плавучие объекты. Основным инструментом для исследования пространственно-временной структуры волновых возмущений в опытном бассейне являются два волнографа, размещенные на произвольном расстоянии друг от друга вдоль распространения волн, как это показано на рисунке 2. В качестве волнографов использованы

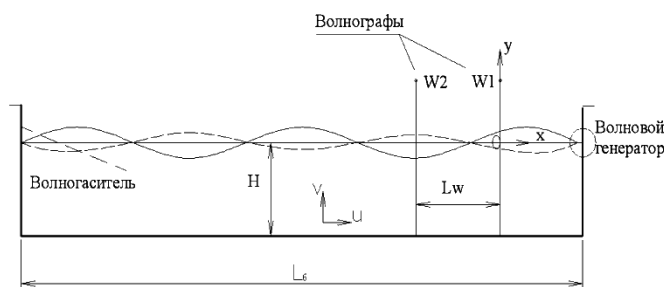


Рисунок 2 – Схема волнового бассейна и установки волнографов w1 и w2

гидродинамические приборы, выходной сигнал которых пропорционален разности атмосферного давления и давления жидкости на фиксированной глубине. Эти относительно простые в конструктивном отношении приборы обладают высокой чувствительностью и могут использоваться в качестве измерителей параметров волнового возмущения давления на различной глубине.

Волновое поле в опытовом бассейне описывается в приближении потенциальных волн, т.е. без учета вязкости воды. Потенциал скорости $\phi(x, y, t)$ записывается следующим образом

$$\phi(x, y, t) = \frac{V_0 \operatorname{ch}[k(y + H)]}{k \operatorname{sh}(kH)} \cos(\omega t - kx), \quad (1)$$

где oxy – прямоугольная система координат, оси которой показаны на рисунке 2; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны, м; $\omega = \frac{2\pi}{T_w}$ – угловая частота, с^{-1} ; T_w – период волны, с; $V_0 = a\omega$ – амплитуда вертикальной волновой скорости, м/с; a – амплитуда вертикальных смещений поверхности $\xi = a \sin(\omega t - kx)$, м.

Знак «–» в соответствии с используемой системой координат соответствует направлению распространения волн в отрицательном направлении оси ox .

Волновое число k определяется по дисперсионному соотношению

$$\omega^2 = ghth(kH), \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – глубина бассейна; k – волновое число.

Горизонтальная $U(x, y, t)$ и вертикальная $V(x, y, t)$ волновые скорости, а также давление $p(x, y, t)$ равны

$$\begin{aligned} U &= \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{V_0 \operatorname{ch}[k(H + y)]}{\operatorname{sh}(kH)} \sin(\omega t - kx), \\ V &= \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{V_0 \operatorname{sh}[k(H + y)]}{\operatorname{sh}(kH)} \cos(\omega t - kx), \\ p &= -\rho g y + \frac{\rho g a \operatorname{ch}[k(H + y)]}{\operatorname{ch}(kH)} \sin(\omega t - kx). \end{aligned} \quad (3)$$

Для получения количественных параметров волновых возмущений используется градуировка волнографов. Ее необходимо выполнять до и после проведения исследований для того, чтобы проверить стабильность метрологических характеристик измерителей. Градуировка датчиков выполняется при опускании приемного конца трубки волнографа на различную контролируемую глубину M_i с одновременным считыванием соответствующего выходного кода N_i . Гидростатическое давление $p_i = \rho g M_i$ на каждой глубине сравнивается с выходным кодом и, затем методом наименьших квадратов вычисляется градуировочная характеристика вида $p = a(N - N_0)$, где a, N_0 – соответственно коэффициент чувствительности и начальный код датчика. Дисперсия σ_N^2 и стандартное отклонение показаний волнографов σ_p вычисляется при отсутствии возмущений поверхности по соотношениям:

$\sigma_N^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (N_i - \bar{N})^2$, $\sigma_p = a \sqrt{\sigma_N^2}$, $[\sigma_p] = \text{Па}$. Суммарная погрешность волнографов равна $\Delta = \pm 2\sigma_p$, Па. Чувствительность волнографов или цена единицы младшего разряда выходного кода равна величине a , Па.

$$\begin{aligned} N_{01} &= 187,141; a = 3,064; \Delta_1 = 9,56 \text{ Па или } 0,956 \text{ мм вод. столба}, \\ N_{02} &= 197,579, a = 3,056; \Delta_2 = 16,38 \text{ Па, или } 1,64 \text{ мм вод. столба}. \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 3 показаны полученные градуировочные характеристики волнографов. Можно отметить их линейный характер и близкие величины для первого и второго приборов. Реальный перепад давления составляет для рассматриваемых условий около 5000 Па. Таким образом, относительные погрешности измерения для первого и второго волнографов составляют 0,19 % и 0,33 %.

Период волны T_w находится путем спектрального анализа рядов значений кодов волнографов.

$$T_w = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{k}{2m\Delta t}, \quad (5)$$

где f – частота волны, с^{-1} ; k – номер точки максимума в спектре; m – количество точек в выборке; Δt – интервал дискретности, с .

Длина волны находится путем решения нелинейного дисперсионного соотношения (2) при известном периоде волны.

Система управления опытового бассейна предусматривает 10 режимов работы, связанных с частотой вращения барабана пневматического волнопродуктора. Частоты выражены в процентах – от 30 % до 60 %. Пространственно-временные характеристики волновых возмущений. Соответствующие этим режимам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Пространственно-временные характеристики волновых возмущений

Режим работы волнопродуктора	Параметры волнения		
	$T_w, \text{с}$	$h_w, \text{м}$	$\lambda, \text{м}$
30 %	1,52	0,07	3,55
40 %	1,2	0,05	2,25
50 %	0,98	0,04	1,50
60 %	0,82	0,03	1,05

В таблице 1 приняты следующие обозначения: T_w – период волны, h_w – высота волны на свободной поверхности (удвоенная амплитуда, $h_w = 2a_w$), λ – длина волны.

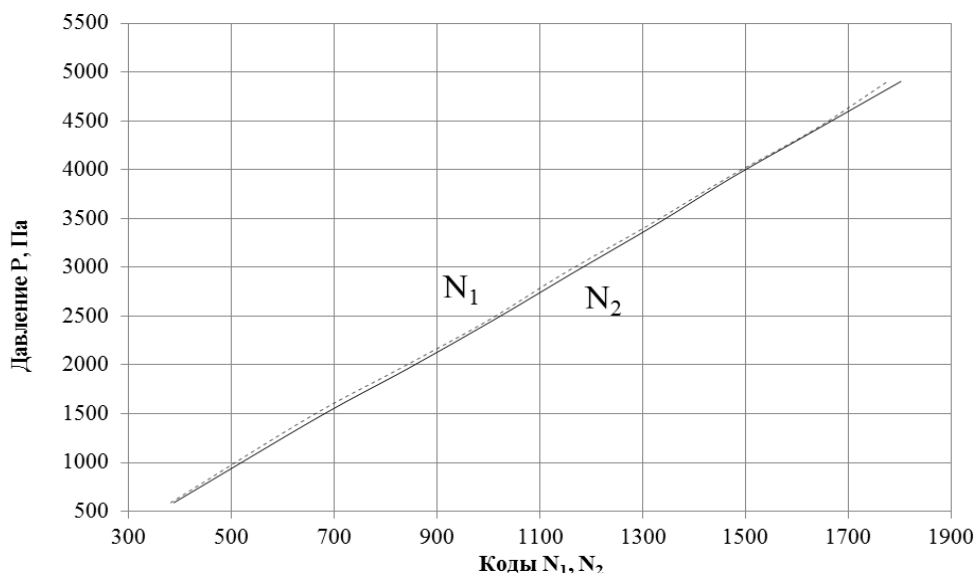


Рисунок 3 – Градуировочные характеристики волнографов

Из соотношения (3) для волновых колебаний давления следует:

$$\frac{p(z)}{p(0)} = \frac{ch(kz)}{ch(kH)} = \frac{ch(2\pi z / \lambda)}{ch(2\pi H / \lambda)}, \quad (6)$$

где $z = H + y$ – расстояние от поверхности дна, $p(0) = 0,5\rho gh_w$ – амплитуда волновых колебаний давления на свободной поверхности.

На рисунке 4 приведены вертикальные распределения по глубине амплитуд волнового давления для линейных волн, вычисленные по соотношению (5). Заметно проявляется эффект более быстрого затухания с глубиной коротких волн по сравнению с волнами большей длины.

Экспериментальные исследования этого эффекта были выполнены путем установки приемных концов волнографов на различной глубине при изменении режима работы волнопродуктора. Полученные результаты для анализируемого диапазона глубин приведены на рисунке 5.

При общей тенденции уменьшения амплитуды волновых возмущений с увеличением расстояния от свободной поверхности наблюдаются существенные отклонения от теоретических профилей, представленных на рисунке 4. Величины этих расхождений представлены в таблице 2.

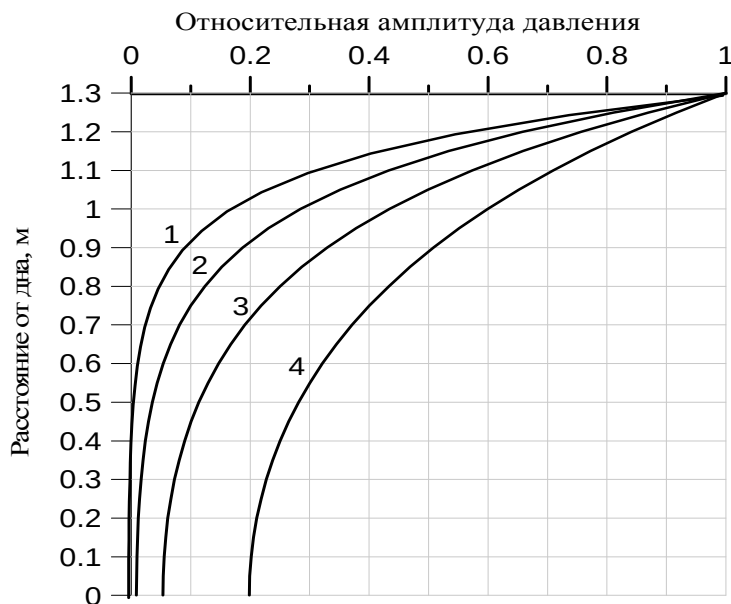


Рисунок 4 – Изменение относительной амплитуды волновых колебаний давления по глубине бассейна для линейных волн малой амплитуды при различных длинах волн: 1 – 1,05 м; 2 – 1,5 м; 3 – 2,25 м; 4 – 3,55 м

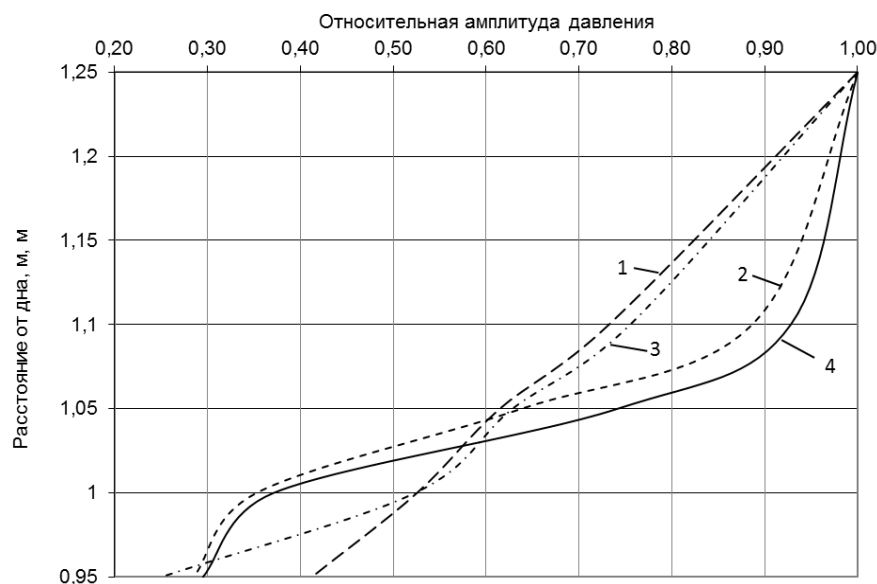


Рисунок 5 – Изменение относительной амплитуды волновых колебаний давления по глубине бассейна при различных длинах волн: 1 – 3,55 м; 2 – 2,25 м; 3 – 1,5 м; 4 – 1,05 м

Таблица 2 – Теоретические и экспериментальные величины нормированных амплитуд волнового давления при различных длинах волн на расстоянии от свободной поверхности 0,25 м (глубина 1 м)

Длина волны, м	Теоретическая величина $p(z)/p(0)$	Экспериментальное значение $p(z)/p(0)$
1,05	0,17	0,36
1,50	0,29	0,64
2,25	0,44	0,35
3,55	0,60	0,54

Заключение

Выполненные экспериментальные исследования и анализ полученных результатов в рамках линейной теории поверхностных волн малой амплитуды показали, что пространственно-временная структура реальных волн в бассейне отличается от представлений линейной теории. При этом общая тенденция уменьшения амплитуды давления с увеличением глубины соответствует потенциальной теории поверхностных волн, а детали вертикальных распределений амплитуды волновых возмущений

существенно отличаются от модельных представлений. Возможное объяснение этой особенности состоит в том, что в противоположной от волнопродуктора части бассейна не происходит полное погашение волновых возмущений и наряду с основной волной в бассейне многократно распространяется отраженная волна, энергия которой составляет некоторую часть энергии основной волны.

Суперпозиция прямой и отраженных волн формирует сложную картину, которая наблюдается. Эту особенность пространственно-временной структуры волн в опытовом бассейне необходимо учитывать при проведении исследований воздействия волн на физические модели различных плавучих объектов. Для этой цели используются представленная методика экспериментальных исследований, которая включает измерение волновых возмущений давления двумя волнографами с разносом их на фиксированное расстояние и фиксации приемной части датчиков на различной глубине, а также спектральный анализ полученных записей и расчеты вертикального распределения по глубине амплитуд волновых возмущений.

Бibliографический список использованной литературы

1. Морева И.Н. Нелинейные колебания полупогружных морских платформ / И.Н. Морева, В.М. Кушнир, Ю.Г. Ожиганов // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. — Севастополь, 2007. — Вып. 1 (21). — С. 144–149.
2. Морева И.Н. Нелинейные колебания полупогружных морских платформ на волнении / И.Н. Морева, А.И. Парфеньев, В.М. Кушнир // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. докл. VI междунар. науч. конф. аспирантов и студентов, Донецк, 17-19 апреля 2007 г. — Донецк, 2007. — Т. 2. — С. 218–219.
3. Морева И.Н. Модельные исследования характеристик моделей морских судов и сооружений в опытовом бассейне / И.Н. Морева, А.И. Парфеньев, Ю.Г. Ожиганов // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. — Севастополь, 2007. — Вып. 2 (21). — С. 145–151.
4. Исследование волновых возмущений в опытовом бассейне / И.Н. Морева [и др.] // Сб. науч. тр. СНУЯЭиП. — Севастополь, 2006. — Вып. 2 (18). — С. 217–226.

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

Тертишнікова О.С., Кушнір В.М. Просторово-часові характеристики хвильових збурень в дослідному басейні СевНТУ

Визначено основні параметри хвильових збурень, генерування яких можливе в дослідному басейні СевНТУ.

Ключові слова: дослідний басейн, хвильові збурення, параметри хвилювання.

Tertyshnikova A.S., Kushnir V.M. Spatial and temporal characteristics of wave disturbances in the SevNTU towing tank

The main parameters of wave disturbances, generated in the SevNTU towing tank, are calculated.

Keywords: towing tank, wave disturbances, parameters of seaway.