

УДК 532.592

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ГИДРОЛОТОК И ПРИМ РАИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ ГЕНЕРАЦИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЦУНАМИПОДОБНЫХ ВОЛН

© 2011 г.

В.В. Попов, Ю.К. Левин, А.В. Семянистый

Институт прикладной механики РАН, Москва

iam-ras@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены экспериментальные данные и обзор экспериментальных методик, используемых при генерации цунамиподобных волн, а также для прецизионного измерения их амплитуд, показано влияние воздушно-пузырьковых завес на обрушение волны при выходе ее на мелководье. Достигнутая на сегодняшний день точность измерения уровня жидкости составляет ± 10 мкм. Обнаружен эффект перераспределения спектральной плотности мощности волны – рассеяние и перекачка энергии волны в низкочастотную область спектра.

Ключевые слова: цунами, пузырьковые завесы, скорость звука, газосодержание, прецизионные измерения уровня жидкости, спектр, перекачка энергии по спектру.

Введение

Моделирование в лабораторных условиях волн цунами представляет собой сложную научно-техническую задачу из-за трудности одновременного воспроизведения в лабораторных условиях безразмерных чисел, реализуемых на реальных волнах цунами. Это числа, определяющие как геометрическое, так и гидрофизическое подобие. Геометрическое подобие определяется: а) глубиной океана H , б) высотой поднятия воды в волне h , в) протяженностью волны цунами λ на глубокой воде. Для реальных волн отношения этих величин составляют $h/H \approx 10^{-3}$, $H/\lambda \approx 10^{-2}$, где H – величина порядка километров, h – порядка метров, λ – порядка сотен километров [1]. Гидрофизическое подобие, в основном, определяется отношением скорости распространения волны цунами V к скорости звука C в океане: $V/C = 10^{-1} - 10^{-2}$. Данный гидрофизический параметр наиболее сложно моделировать в лабораторных условиях, поскольку скорость звука в воде остается прежней, а скорости распространения модельных цунами подобных волн падают в сотни раз.

Известно, однако, что в воде с добавками мелких воздушных пузырей скорость звука падает также в десятки раз уже при объемных газосодержаниях порядка 10^{-2} , а плотность такой микропузырьковой среды практически равна плотности воды без пузырей [2]. С этой целью была предпринята попытка экспериментального изучения влияния добавок воздушных пузырей в воде

на характеристики модельной волны, в частности на физику обрушения ее при выходе на мелководье.

Одновременно с этим была разработана экспериментальная методика прецизионного измерения амплитуд цунамиподобных волн с высотой возвышения порядка нескольких миллиметров. Достигнутая на сегодняшний день точность составляет ± 10 мкм [3]. Таким образом, удалось существенно продвинуться в сторону большей точности моделирования реальных волн цунами на лабораторном гидролотке.

Экспериментальная установка

Установка, на которой проводились исследования, состоит из гидролотка прямоугольного сечения высотой 0.35 м, шириной 0.26 м и длиной 15 м. В одном из торцов гидролотка располагается разработанный авторами генератор цунами подобных волн. Генератор позволяет формировать на выходе цунамиподобную волну с крутым передним фронтом и практически плоским гребнем заданной высоты – от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Глубина воды в лотке может меняться от 10 до 30 см. В противоположном от генератора волны торце располагается прозрачный измерительный участок, в котором размещаются сменные модельные участки прибрежного шельфа необходимой геометрии профиля дна.

Лоток оборудован системой измерений, состоящей их электронной части и системы скоростной киносъемки выхода волны на мелководье.

Электронная часть включает восемь расположенных на заданном расстоянии вдоль длины лотка датчиков уровня. Методика прецизионных измерений уровня воды была запатентована и подробно описана в [4]. Амплитуда волны в месте расположения датчика уровня фиксировалась с точностью ± 10 мкм и записывалась в виде таблиц числовых значений (т.е. в оцифрованном виде). В дальнейшем эти данные использовались для вычисления спектральных характеристик волны по мере ее распространения вдоль лотка, ее отражения от торцов, при прохождении пузырьковых завес, и т.п. Скоростная киносъемка осуществлялась с использованием цифровой фотокамеры, которая обеспечивала скорость съемки до 250 кадров в секунду при разрешении 640×480 пикселей. Использование специальных люминесцентных добавок позволяло отслеживать отдельные линии тока в волне по мере ее выхода на мелководе и изучать механику обрушения.

Разработанный в ИПРИМ РАН большой гидродинамический лоток оригинальной конструкции (длина $L = 15$ м, водоизмещение $V = 1.8$ м³) с системой датчиков уровня воды с разрешением ± 10 мкм и газосодержания – с точностью 0.03%, скоростной видеосъемкой (до 250 кадр/с), а также системой обработки данных с использованием методики частотно-временного анализа на основе быстрого преобразования Фурье, позволяет с высокой точностью исследовать волновые процессы малой амплитуды (точность ± 10 мкм) в водной среде с различным газосодержанием (точность до 0.03%), в том числе – взаимодействие длинной нелинейной волны с пузырьковой завесой в мелкой воде.

Разработанная методика обработки данных с использованием частотно-временного анализа обеспечивает возможность автоматизации проведения экспериментов, обработки данных и их анализа. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: в отсутствие пузырьковой завесы лоток как резонансная система усиливает мощность волнового процесса на частоте $f = 0.079$ Гц (длина волны $\lambda = 12.6$ м) и уменьшает амплитуду низкочастотной области спектра волн на 6%; при формировании пузырьковой преграды (давление на входе диспергатора $P = 0.19$

атм) усиливаются волны на частоте $f = 0.0915$ Гц (длина волны $\lambda = 10.9$ м), а также уменьшается амплитуда низкочастотной области спектра на 44%.

Таким образом, обнаружен эффект перераспределения спектральной плотности мощности волны – рассеяние и перекачка энергии волны в низкочастотную область спектра. Это дает основания полагать, что с помощью пузырьковой завесы можно уменьшать горизонтальный импульс волны цунами.

При проведении экспериментальных исследований был предложен оригинальный прибор – тарировочный датчик уровня №8 – для точного измерения уровня водной поверхности. На рис. 1 представлены результаты тарировки такого датчика (по горизонтальной оси – смещение датчика по вертикали (мкм), по вертикальной оси – регистрируемый сигнал (мВ) на выходе измерительной схемы).

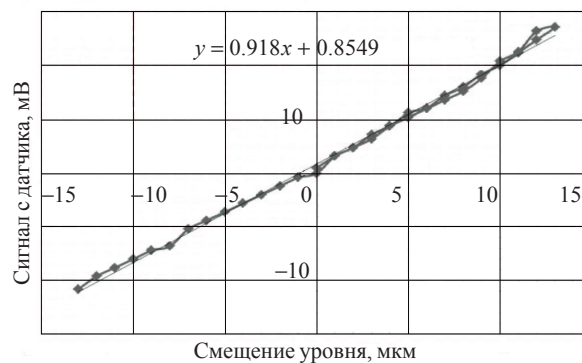


Рис. 1

Список литературы

1. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. С. 78.
2. Бошнятов Б.В., Попов В.В. Об измерении газосодержания микродисперсных газожидкостных сред акустическим методом // Гидродинамические проблемы технологических процессов / Под ред. В.В. Струминского. М.: Наука, 1988. С. 211–215.
3. Бошнятов Б.В., Левин Ю.К., Попов В.В. Устройство измерения уровня воды. ГР№2010141060 от 07.10.2010.
4. Бошнятов Б.В. и др. Метод измерения волн малой амплитуды на водной поверхности // ПТЭ. 2011 (в печати).

**IAM RAS EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR STUDYING THE PHYSICS OF GENERATION
AND PROPAGATION OF TSUNAMI-LIKE WAVES**

V.V. Popov, Yu.K. Levin, A.V. Semyanisty

The experimental data and a review of experimental techniques used to generate tsunami-like waves are presented; the results of high-precision measurements of their amplitudes are given. The effect of air–bubble curtains on the collapse of the wave reaching shallow water is described. The up to date measurement accuracy of the changes of the liquid level is ± 10 microns. An effect of the redistribution of the spectral density of the wave energy – scattering and transfer of the wave energy into the low-frequency spectrum – is found.

Keywords: tsunami, bubbles curtains, sound speed, gas content, precision measurement of liquid level, spectrum, spectral diagram, transfer of energy on the spectral diagram.