

УДК 532.59

# О ВРЕМЕНИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЕДИНЕННЫХ ВОЛН С БЕРЕГОВЫМИ СКЛОНАМИ

А. С. КОТЕЛЬНИКОВА

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Получено 30.08.2010

Представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия уединенной волны с вертикальной стенкой и береговыми склонами, установленными под разными углами к горизонту. Сделана оценка времени этого взаимодействия.

Представлено результати експериментальних досліджень взаємодії відокремленої хвилі з вертикальною стінкою та береговими схилами, які мають різні кути нахилу до горизонту. Зроблено оцінку часу цієї взаємодії.

The results of experimental investigations of the interaction of solitary wave with vertical wall and slopes installed at different angles in respect to horizon are presented. The time interaction of wave with vertical wall and slopes is estimated.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных параметров, определяющих характер взаимодействия волн со склоном, является время взаимодействия. Когда слабо нелинейные уединенные волны сталкиваются с вертикальной стенкой (что, при отсутствии вязкости, эквивалентно столкновению двух одинаковых уединенных волн друг с другом), скорость распространения отраженной волны по сравнению со скоростью падающей волны уменьшается, и, следовательно, проявляется пространственный фазовый сдвиг [1].

Множество работ посвящены как численному, так и экспериментальному исследованию взаимодействия уединенных волн с вертикальной стенкой и береговыми склонами. Основное внимание этих исследований направлено на определение величин наката волн в зависимости от их амплитуды и угла берегового склона. Оценка изменения величины фазового сдвига (замедление распространения волн в течение их столкновения) при лобовом столкновении двух уединенных волн представлена в работах [1–4]. В работе [1] показано, что максимальный подъем уровня воды при столкновении волн может превышать удвоенную амплитуду начальной волны. Обнаружен фазовый сдвиг, который не зависит от начальной амплитуды. Проведено сравнение с результатами теоретических зависимостей. В работе [2] изучение процесса столкновения уединенных волн основывалось на использовании метода малых возмущений. Обнаружено, что волны, сформировавшиеся в результате столкновения, сохраняют свои исходные параметры (с точностью до третьего порядка разложения), однако имеет место фазовый сдвиг, кроме того, за каждой уединенной волной возни-

кают вторичные волны. Вычислен максимальный подъем уровня воды при столкновении волн. Результаты расчетов фазового сдвига и зависимости параметров взаимодействующих уединенных волн от времени представлены в работе [3]. Основное внимание направлено на изучение генерации вторичных волн. Описано формирование волнового цуга за каждой распространяющейся уединенной волной, который возникает в результате лобового столкновения уединенных волн. Оценка времени взаимодействия волны со стеной сделана в работе [4]. Приведены результаты для стадии движения, когда волна находится уже непосредственно в контакте со стеной. Показано, что время взаимодействия обеспечивает определение параметров фазового сдвига, возникающего в процессе отражения волн как малой, так и большой амплитуды. В работе представлены также результаты, касающиеся других особенностей взаимодействия, включая максимальный накат и мгновенную силу воздействия на стену.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований времени взаимодействия уединенных волн с береговыми склонами, установленных под разными углами к горизонту:  $11^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ .

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты по исследованию взаимодействия уединенной волны с вертикальной стенкой и береговыми склонами проводились для следующих глубин воды в лотке: 11 и 17 см. Подробное описание экспериментальной установки представлено в [5]. После генерации уединенная волна с ам-

плитудой  $a$  распространяется в волновом лотке по направлению к склону, движется вверх по склону, и в конечном итоге величина наката достигает своего максимального значения  $R$  (рис. 1). Результаты исследования величины наката в зависимости от параметров уединенной волны для разных глубин приведены в работе [5].

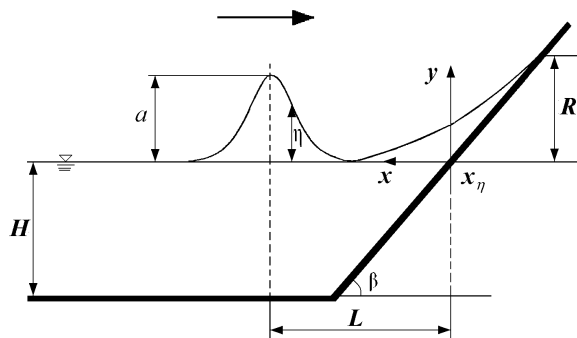


Рис. 1. Эскиз взаимодействия уединенной волны с береговым склоном:

$R$  – высота наката уединенной волны на склон;  
 $H$  – глубина воды в лотке;  $a$  – амплитуда волны;  
 $\eta$  – поточное возбуждение свободной поверхности;  
 $\beta$  – угол наклона берегового склона. Стрелка указывает направление распространения уединенной волны

При взаимодействии уединенных волн с береговыми склонами после достижения положения максимального наката начинается процесс отката (wave run-down) – "язык" наката отступает вниз по склону, и в этот момент начинается генерация отраженной волны, распространяющейся от берегового склона. В настоящей работе оценивалось общее время взаимодействия уединенной волны с береговым склоном (время наката и время отката волны). Отметим, что начало координат  $x_0$  расположено на пересечении невозмущенной поверхности воды (уреза воды) и склона, и ось  $x$  направлена против движения падающей волны. Время взаимодействия рассчитывалось для уединенной волны, распространяющейся на расстоянии  $L$  от стенки, относительно начала координат. Так как при проведении экспериментальных исследований датчики располагались на разных расстояниях от береговых склонов (в данном случае от начала координат  $x_0$ ), расстояние  $L$  от  $x_0$  до условного датчика  $D0$  принималось равным 100 см. Отметим, что характерная длина волны в экспериментах при глубине воды в лотке 17 см составляет приблизительно 100 см, при глубине воды в лотке 11 см длина волны уменьшается. Поскольку в опытах на основе экспериментальных данных рассчитывалась скорость волны, момент прохожде-

ния волной датчика  $D0$  определялся для каждого пробега. На рис. 2 представлены результаты изменения времени взаимодействия уединенной волны с амплитудой  $a = 0.26H$  при глубине воды в лотке 11 см и с амплитудой  $a = 0.17H$  при глубине воды в лотке 17 см с вертикальной стенкой и береговыми склонами.

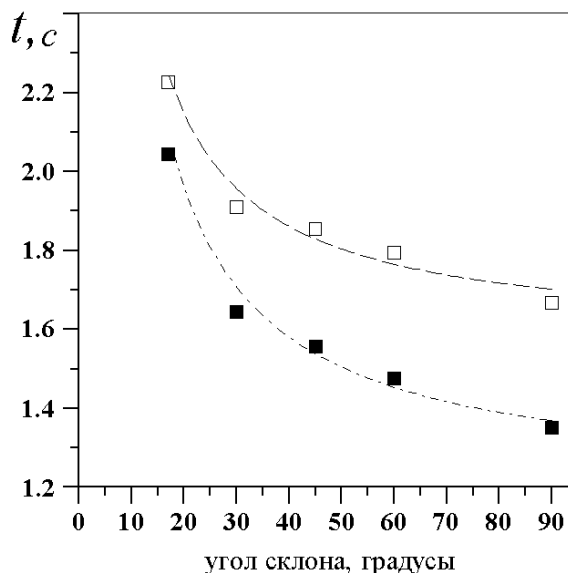


Рис. 2. Время взаимодействия уединенной волны по отношению к углу наклона берегового склона к горизонту:

□ – для глубины воды в лотке 11 см;  
 ■ – для глубины воды в лотке 17 см

Анализ данных показывает, что при уменьшении угла склона увеличивается высота наката волны на склон, и, соответственно, возрастает время взаимодействия волны со склоном. Отметим, что при очень малых углах склона не возникает отраженной уединенной волны и наблюдается отражение в виде цуга волн. Характерной особенностью взаимодействия уединенной волны с береговым склоном, согласно [4], является то, что на процесс отката затрачивается больше времени, чем на процесс наката. Анализ результатов обработанных данных показал, что после отражения часть энергии уединенной волны затрачивается на формирование дисперсионного цуга и, естественно, на трение жидкости о дно. В результате амплитуда волны падает, что приводит к уменьшению скорости распространения отраженной волны, которое производит пространственный фазовый сдвиг, и увеличению времени прохождения заданного участка волной. Из рис. 2 также видно, что при уменьшении глубины воды в лотке вре-

мя взаимодействия уединенной волны с береговым склоном увеличивается. Это связано с изменением скорости распространения волны в экспериментальном лотке.

## ВЫВОДЫ

Проведено экспериментальное исследование взаимодействия поверхностной уединенной волны с вертикальной стенкой и береговыми склонами. Сделана оценка времени взаимодействия волны с вертикальной стенкой и береговыми склонами. Показано, что при уменьшении глубины воды в лотке и при уменьшении угла склона время взаимодействия уединенной волны с береговым склоном увеличивается.

1. *Maxworthy T.* Experiments on collisions between solitary waves // *J. Fluid Mech.*– **76.**– 1976.– P. 177–185.
2. *Su C. H. and Rida M. Mirie* On head-on collisions between two solitary waves // *J. Fluid Mech.*– **98,** N 3.– 1980.– P. 509–525.
3. *Rida M. Mirie and Su C. H.* Collisions between two solitary waves. Part 2. A numerical study // *J. Fluid Mech.*– **115.**– 1982.– P. 475–492.
4. *M. J. Cooker, P. D. Weidman and D. S. Bale* Reflection of a high-amplitude solitary wave at a vertical wall // *J. Fluid Mech.*– **342.**– 1997.– P. 141–158.
5. *Городецький О. В., Котельнікова А. С., Нікішов В. І., Олексюк В. В. та ін.* Генерація, розповсюдження та накат відкремлених хвиль на берегові схили // *Прикладна гідромеханіка.*– 2010.– **12(84),** N 1.– С. 40–47.