

УДК 532.59

О ПРОГРЕССИВНО-СТОЯЧИХ ВОЛНАХ ФАРАДЕЯ

© 2011 г.

В.А. Калининченко, С.Я. Секерж-Зенькович

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

kalin@ipmnet.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментального исследования гравитационных поверхностных прогрессивно-стоячих волн в вертикально колеблющихся цилиндрических сосудах с заостренными основаниями. Показано, что наличие заострения является необходимым условием возбуждения таких волн.

Ключевые слова: параметрический резонанс, волна стоячая и прогрессивная, пучность и узел волны, траектория частиц.

Гравитационные поверхностные волны в вертикально колеблющемся сосуде с жидкостью – волны Фарадея [1], считаются стоячими, поскольку во всех лабораторных экспериментах отсутствует перемещение пучностей волн по горизонтали. В экспериментах использовались цилиндрические сосуды, плоское дно которых было прямоугольным или круглым.

Представлены результаты экспериментального исследования волн на свободной поверхности воды в вертикально колеблющихся цилиндрических сосудах, основание которых имеет одно клиновидное заострение.

В экспериментах использовались призматические сосуды, форма основания которых менялась от прямоугольного до клиновидного. Амплитуда вертикальных колебаний каждого сосуда $s = 0.8$ см, а период $T/2$ – различный для разных сосудов. Возбуждаемая в каждом сосуде волна имела период T , что характерно для волн Фарадея [2]. Волновые движения жидкости ($h = 3.6$ см) во всех изучаемых случаях регистрировались посредством видеосъемки в подвижной системе отсчета. Поскольку наблюдаемые волны были практически плоскими, сначала исследовались волновые профили и делался вывод о характере наблюдаемой волны. Затем анализировались траектории частиц-трассеров.

Форма основания одного из сосудов с заострением показана на рис. 1а, где $L = 60$ см, $l = 25$ см, $b = 2.7$ см. Возбуждалась волна с периодом $T = 0.586$ с в два раза больше периода колебаний сосуда. Однако ее нельзя назвать обычной волной Фарадея по следующей причине.

На рис. 1б показаны профили волны, снятые с шагом по времени $\Delta t = T/10$. Для выявления свойств волны в прямоугольной области сосуда

через гребень, расположенный в середине этой области, проведена вертикальная прямая А. На втором и третьем кадрах видно, что высота этого гребня уменьшается, а на кадрах 8–10 – увеличивается. На кадрах 4–7 на месте гребня видна подошва волны. Такое изменение во времени волнового профиля вдоль фиксированной вертикальной прямой является типичным для пучности стоячей волны в сосуде с прямоугольным основанием.

Другими свойствами обладает часть волны в левой, заостренной, части сосуда. Для их траектории на рис. 1б проведена наклонная прямая В от передней части гребня волны на кадре 3 до передней части гребня волны на кадре 10. На промежуточных кадрах около этой прямой пучность волны также прослеживается, правда ее высота и форма меняются.

Простейший расчет показал, что если вдоль проведенной прямой перемещался бы гребень прогрессивной волны постоянной высоты в сосуде с прямоугольным основанием, то его скорость была 59.4 см/с, а измеренная по данным рис. 1б скорость распространения гребня оценивается как 67.8 см/с. Поэтому было предположено, что часть волны в рассмотренной области сосуда обладает свойствами волны прогрессивной. В итоге, по результатам анализа волновых профилей был сделан вывод, что наблюдаемую во всем сосуде волну можно охарактеризовать как *прогрессивно-стоячую волну Фарадея*. По нашим сведениям, впервые термин «прогрессивно-стоячая волна» был введен при анализе приливно-отливных явлений в проливах [3].

Для проверки сформулированного вывода исследованы траектории частиц-трассеров в толще воды, рис. 1в.

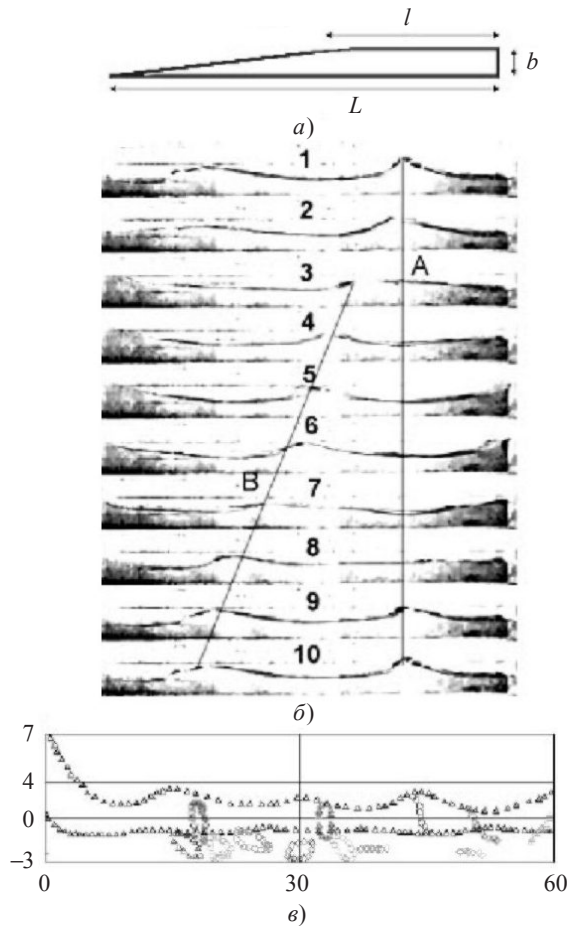


Рис. 1

Видно, что в правой части сосуда под пучностью волны траектории имеют форму отрезков

вертикальных прямых линий. При удалении вправо от пучности траектории остаются отрезками прямых, причем они отклоняются от вертикали и становятся близкими к горизонтальным в той области, где должен располагаться узел волны. Левее рассмотренной пучности видны замкнутые траектории частиц-трассеров типа эллипсов. Это подтверждает вывод о том, что в клиновидной части сосуда наблюдаемая часть волны проявляет свойства волны прогрессивной, для которой траектории частиц имеют вид эллипса, вытянутого в направлении распространения волны.

Итак, анализ траекторий частиц-трассеров подтвердил вывод, что наблюдаемая волна может быть охарактеризована как прогрессивно-стоячая волна Фарадея.

Серия дополнительных экспериментов с сосудами, имеющими различную форму основания, показала, что наличие заострения является необходимым условием возбуждения прогрессивно-стоячих волн Фарадея.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 11-01-00247 и 11-01-00973).

Список литературы

1. Miles J.W., Henderson D. // Ann. Rev. Fluid Dyn. 1990. V. 22. P. 143–165.
2. Калиниченко В.А., Секерж-Зенькович С.Я. // Изв. РАН. МЖГ. 2007. № 6. С. 120–126.
3. Крылов Ю.М. // Метеорология и гидрология. 1946. № 2. С. 69–74.

ON PROGRESSIVE-STANDING FARADAY WAVES

V.A. Kalinichenko, S.Ya. Sekerzh-Zenkovich

An experimental study of gravitational surface progressive-standing waves in a vertically oscillating cylindrical vessels with pointed bases is presented. It is shown that the presence of a cusp is a prerequisite for the excitation of such waves.

Keywords: parametric resonance, standing wave and progressive wave antinode and node, the trajectory of particles.