АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1994, том 40, № 3, с. 444 - 445

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНЕЧНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ЖИДКОСТИ

© 1994 г. П. А. Вислоусов, Б. И. Вольфсон, А. Ю. Дроздов, А. Э. Екимов, Л. М. Кустов, А. И. Мартьянов, О. Н. Попов, А. Я. Ционский

Институт прикладной физики РАН
603600 Н. Новгород, ул. Ульянова, 46

Поступила в редакцию 14.09.93 г.

Проблеме колебания упругих тел в жидкости посвящено большое количество публикаций, однако весьма мало работ, где проведено сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований [1 - 4].

Ниже приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований вынужденных колебаний конечной цилиндрической оболочки с конструктивными неоднородностями в жидкости.

Экспериментальное исследование колебаний цилиндрической оболочки проводилось в гидроакустическом бассейне с размерами 4 × 5 × 5 м по методике, описанной в [5] (бесконтактный способ измерения вибраций). Для этой цели был использован ультразвуковой дистанционный измеритель виброперемещений [6]. Принцип действия этого устройства основан на облучении исследуемой поверхности ультразвуковыми импульсами. Параметры вибраций определялись путем сравнения фаз излученного и отраженного импульссв. Прибор позволял дистанционно в жидкости измерять вибрации с амплитудой от 0.00001 до 10 мм в диапазоне частот 0 - 5 кГц.

В экспериментах ультразвуковой локатор находился на расстоянии 15 см от исследуемой поверхности оболочки и создавал пятно засветки (размер пространственного разрешения) с эффективным диаметром 1 см. Закрытая с торцов плоскими пластинами, обеспечивающими герметичность конструкции, цилиндрическая оболочка, подкрепленная ребрами жесткости, крепилась на жесткой штанге поворотного устройства, обеспечивающего вращение в азимутальной плоскости оболочки. Штанга с цилиндром могла также перемещаться и в вертикальном направлении (подробная схема измерений приведена в работе [6]). Таким образом обеспечивалось сканирование цилиндра в азимутальном и продольном направлениях относительно неподвижного измерителя виброперемещений. Сканирование осуществлялось с помощью электромоторов синхронно с регистрирующим амплитуду вибраций самописцем.

В экспериментах исследовались резонансные формы колебаний цилиндра, возбуждаемого гармоническим источником (электромагнитным вибратором), расположенным в точке, равноуда-

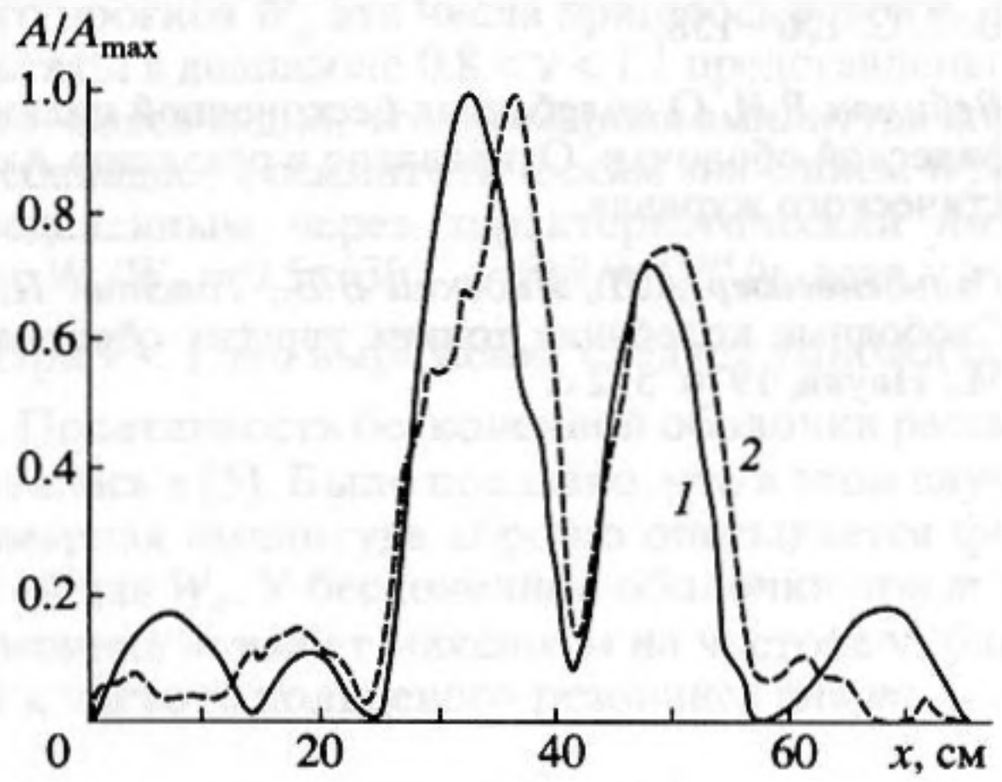

Рис. 1. Распределение колебаний поверхности оболочки в осевом направлении: *1* – численный расчет, *2* – эксперимент. *A* – нормированная на максимум A_{max} амплитуда вибросмещений, *x* – координата вдоль оси оболочки; частота – 1230 Гц.

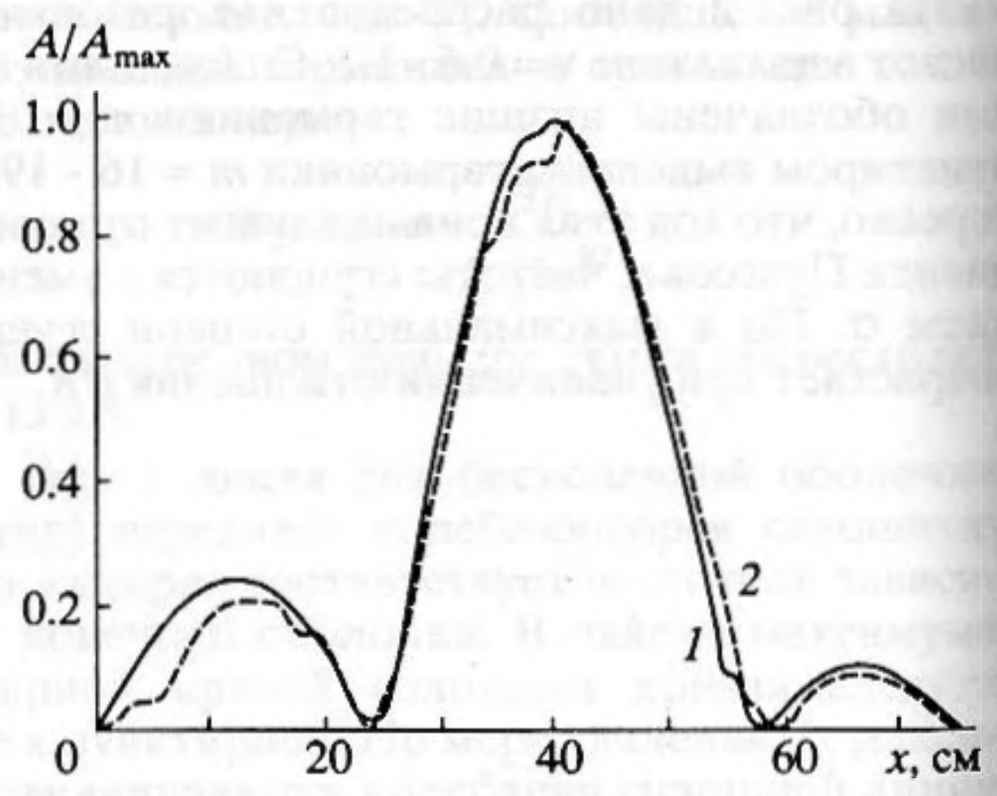

Рис. 2. Распределение колебаний поверхности оболочки в осевом направлении: *1* – численный расчет, *2* – эксперимент. *A* – нормированная на максимум A_{max} амплитуда вибросмещений, *x* – координата вдоль оси оболочки; частота – 550 Гц.

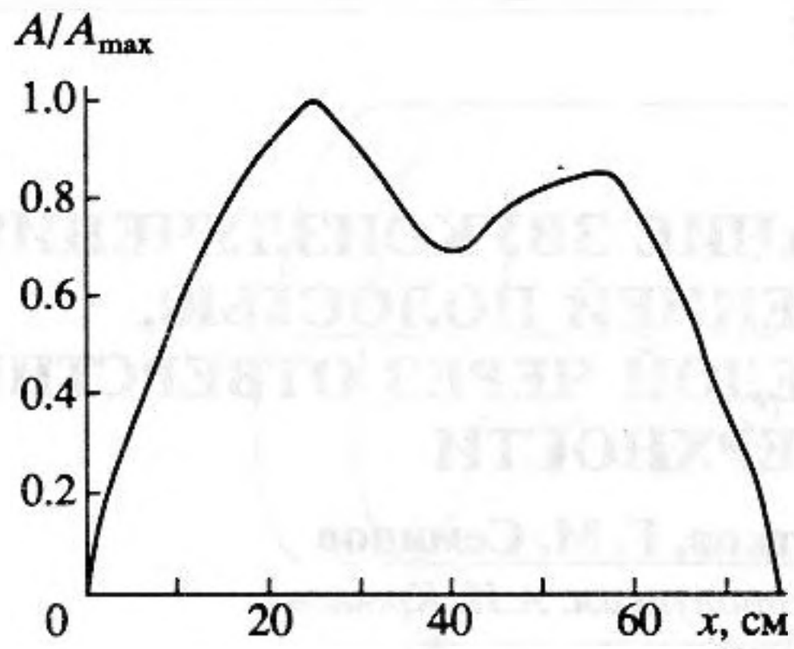

Рис. 3. Распределение колебаний поверхности оболочки в осевом направлении вблизи квазирезонанса балочной формы колебаний оболочки в жидкости (численный расчет), A – нормированная на максимум амплитуда вибросмещений, x – координата вдоль оси оболочки; частота – 353 Гц.

ленной от торцов. Оболочка была изготовлена из листовой стали (сталь 3) и имела сварной шов вдоль образующей. Параметры оболочки: $h/R = 0.015$ (h – толщина оболочки, $R = 100$ мм – ее радиус), $L/R = 7.6$ (L – длина оболочки), внутри оболочка разделена жесткими узкими кольцами ($h \approx H$, H – толщина кольца) на три части, такие, что $L/L_1 = 2.1$; $L/L_2 = 3$; $L/L_3 = 2.5$, где L_1, L_2, L_3 – длины частей.

Результатом экспериментов явилось определение распределения вибросмещений в азимутальном и осевом направлениях. Примеры форм колебаний (нормированные на максимум) оболочки в осевом направлении, по линии, проходящей через точку приложения силы, приведены на рис. 1 и 2.

Для теоретических расчетов в качестве исследуемой модели бралась изотропная цилиндрическая оболочка с изотропными пластинами на торцах, подкрепленная кольцами Кирхгофа-Клебша, внутри оболочки – вакуум. Материал конструкции подчиняется закону Гука. Считалось, что оболочка погружена в безграничную идеальную сжимаемую жидкость при отсутствии гравитационных сил. Таким образом, по сравнению с реальными условиями пренебрегалось: наличием сварного шва у оболочки, массой вибродатчика в месте установки вибратора, наличием воздуха внутри оболочки, силами гидростатического давления, а также ограниченностью бассейна. В качестве краевых условий для оболочки взята жесткая заделка в центральных точках торцов. В полном объеме математическая формулировка задачи приведена в работах [7, 8]. Решение осуществлялось итерационным методом [9, 10]. Результаты расчетов представлены на рис. 1 и 2. На приведенных графиках наблюдается влияние ребер жесткости: амплитуда колебаний на них мала, т. е. точки расположения ребер являются "узловыми" для большинства продольных оболочечных форм. Для балочных форм (окружная мода $n = 1$) это не так, что видно из рис. 3, где представлена форма колебаний для частоты, лежащей в окрестности первого квазирезонанса оболочки в жидкости.

Сравнение и анализ результатов эксперимента и расчетов модельной задачи показывает хорошее качественное и количественное совпадение форм колебаний (с погрешностью порядка нескольких процентов). Это свидетельствует о малой чувствительности модели, выбранной для проведения теоретических расчетов вибраций, к используемым упрощениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вислоусов П.А., Вольфсон Б.И., Дроздов А.Ю. и др.* Сравнение результатов теоретического и экспериментального исследований излучающей способности конечной цилиндрической оболочки в жидкости // Акуст. журн. 1992. Т. 38. № 6. С. 1105 - 1108.
2. *Neubauer W.G., Vogt R.H., Dragonette L.D.* Acoustic Reflection from Elastic Spheres. 1. Stesdy State Signalas // J.A.S.A. 1976. V. 55. № 6. P. 1113 - 1129.
3. *Dragonette L.D., Vogt R.H., Flax L., Neubauer W.G.* Acoustic Reflection from Elastic Spheres and Rigid Spheres and Spheroids. 2. Trausient Analysis // J. A. S. A. 1976. V. 55. № 6. P. 1130 - 137.
4. *Amey H.B., Pomonic G.A.* Added Mass and Damping of Submerged Bodies Oscillatting Near the Surface // 4th Annual of Shore Thechnology Conference: Huston. Texas, 1972. P. 463 - 478.
5. *Донской Д.М., Екимов А.Э., Кустов Л.М. и др.* Методы моделирования при исследовании виброакустических характеристик сложных конструкций // Виброакустические поля сложных объектов и их диагностика. Горький: ИПФ АН СССР, 1989. С. 97 - 117.
6. *Кустов Л.М., Мартьянов А.М.* Ультразвуковой измеритель перемещений: А.с. 1527493, М. G 01 H 5/00 // Б. И. 1989. № 45.
7. *Вислоусов П.А., Вольфсон Б.И., Донской Д.М. и др.* Вибрационные характеристики конечной цилиндрической оболочки с неоднородностями в жидкости. М., 1989. Деп. в ВИНИТИ 28.02.89, № 1308 - В89.
8. *Вислоусов П.А., Вольфсон Б.И., Дроздов А.Ю. и др.* Установившиеся колебания и звукоизлучение контактирующей с жидкостью подкрепленной цилиндрической оболочки с неоднородностью // Тез. докл. Всесоюз. симп. "Взаимодействие акустических волн с упругими телами". Таллинн: ТПИ, 1989. С. 48 - 51.
9. *Попов О.Н., Ционский А.Я., Юдин А.С.* Итерационный метод решения задачи о вынужденных колебаниях подкрепленных оболочек вращения в жидкости // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 3. С. 539 - 542.
10. *Гельвин А.А., Зеленин А.А., Попов О.Н., Ционский А.Я.* Итерационный метод расчета вынужденных колебаний подкрепленных оболочек вращения в жидкости // Проблемы гидромеханики в освоении океана. Ч. 2А: Материалы 3-й респ. конф. по прикладной гидромеханике. Киев: ИГМ АН УССР, 1984. С. 71 - 72.