

УДК 432

СОУДАРЕНИЕ УПРУГИХ ТЕЛ С ТОНКИМ СЛОЕМ ЖИДКОСТИ

© 2011 г.

Т.И. Хабахнашева, А.А. Коробкин

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

tkhab@ngs.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Исследованы нелинейные задачи о вертикальном проникании цилиндрической и сферической упругих оболочек в тонкий слой жидкости и о наклонном ударе пологого жесткого тела по поверхности жидкого слоя. В рассматриваемых задачах жидкость полагается идеальной и несжимаемой, а ее движение – потенциальным. Для анализа гидродинамической части задачи используется метод сращиваемых асимптотических разложений. Решение упругой части задач основано на методе нормальных мод. В задаче о наклонном ударе по тонкому слою жидкости определяется положение точки отрыва свободной границы жидкости от гладкой поверхности движущегося тела.

Ключевые слова: удар, упругое тело, тонкий слой жидкости, сращиваемые асимптотические разложения, отрыв.

Вертикальный удар упругой оболочки по тонкому слою жидкости

Построена и исследована модель удара цилиндрической и сферической упругих оболочек по тонкому слою жидкости. В начальный момент оболочка касается жидкости в единственной точке, а затем начинает погружаться в нее так, что скорость центра вертикальна и постоянна (рис. 1).

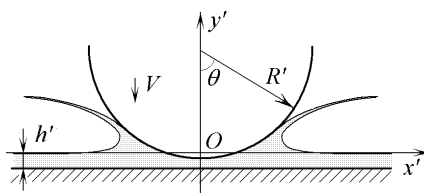


Рис. 1

Определены деформации и нагрузки на оболочку при следующих предположениях: жидкость – идеальная и несжимаемая, ее течение – симметричное относительно вертикальной оси, оболочка имеет постоянную толщину, размер области контакта оболочки с жидкостью монотонно возрастает со временем. Течение жидкости, деформации оболочки и размер области контакта определяются одновременно.

Для анализа течения жидкости используется метод сращиваемых асимптотических разложений [1]. Малым параметром является отношение глубины жидкого слоя к характерному горизонтальному размеру тела. В соответствии с этим

методом область течения разбивается на несколько подобластей (рис. 2): область непосредственно под телом; область образования брызговой струи; область брызговой струи и внешняя область, жидкость в которой покоится. Течения жидкости в этих подобластях определяются в главном приближении и сращиваются на общих границах подобластей.

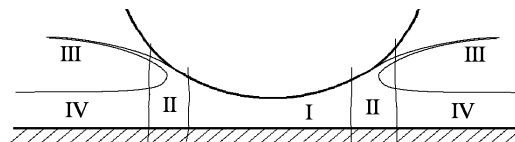


Рис. 2

Деформации цилиндрической оболочки описываются с помощью метода нормальных мод, в рамках которого прогиб представляется в виде ряда по формам свободных колебаний оболочки, что позволяет построить эволюционную систему дифференциальных уравнений для решения связанной задачи гидроупругости [2].

Показано, что при прочих равных условиях удар по тонкому слою жидкости более опасен, чем удар по глубокой воде. Чем меньше толщина слоя, тем значительней прогибы и напряжения в оболочке.

В случае гибкой оболочки из стекловолокна были обнаружены различные режимы протекания процесса удара. На рис. 3 показаны формы оболочки в различные моменты времени. Для «жес-

тких» условий удара (удар с большой скоростью по очень тонкому слою жидкости) оболочка не проникает в жидкость, а «распластывается» по ее поверхности (рис. 3а). При средней скорости удара оболочка достигает дна, однако ее первый контакт с дном происходит не в центральной точке, поскольку оболочка существенно прогибается в центре (рис. 3б). Кроме того, возможно, что при ударе из-за выраженного возбуждения высокой моды колебаний в центре образуется тонкий «язык», который касается дна со скоростью, превышающей начальную скорость удара (рис. 3б).

Наклонный удар жесткого тела по тонкому слою жидкости

Задача о наклонном ударе по тонкому слою жидкости оказалась значительно сложнее аналогичных задач как для удара по бесконечно глубокому слою жидкости, так и для вертикального удара симметричным контуром по тонкому слою жидкости. Это связано с тем, что нелинейное, несимметричное течение жидкости в слое существенно влияет на распределение гидродинамического давления и требует адекватного учета как непосредственно в точках сопряжения, так

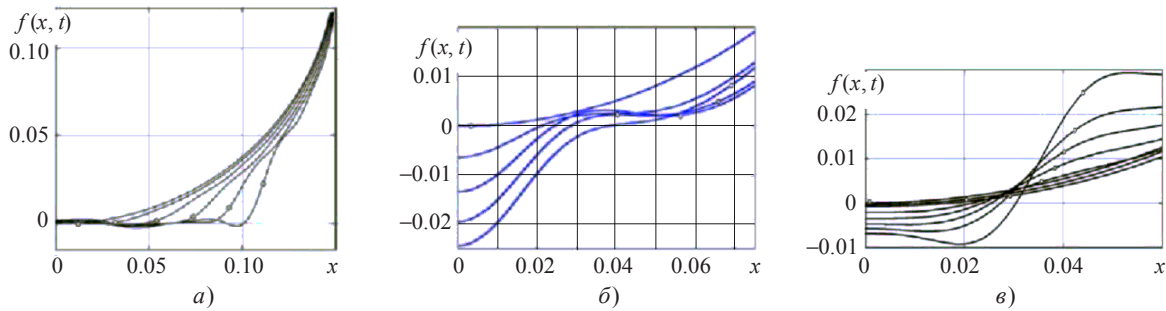


Рис. 3

Отметим, что все эти эффекты отражают влияние высоких мод и не могли быть получены в 3–5-модовых моделях, рассматриваемых в работах [3, 4]. Данные режимы не были найдены для относительно жестких оболочек из стали или алюминия.

В случае низкой скорости удара (и/или достаточно толстого слоя жидкости) оболочка проникает в жидкость, изменяя свою форму. При этом оболочка может не достигнуть дна до того момента, когда начинается сужение области контакта, что указывает на начало выхода оболочки из воды (рис. 4).

и интегрально. При малой горизонтальной скорости и на передней, и на задней кромках области контакта образуются струи (рис. 5а), однако при использовании метода сращиваемых асимптотических разложений несимметричность течения приводит к значительно более сложным соотношениям между искомыми величинами, чем в [1].

При большом угле наклона вектора скорости тела на задней кромке струя не возникает и образуется зона отрыва течения (рис. 5б). Отметим, что рассматриваются тела без выраженной острой кромки, поэтому определение самой точ-

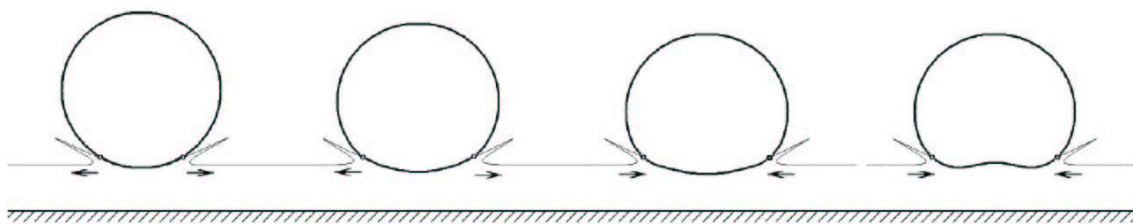


Рис. 4

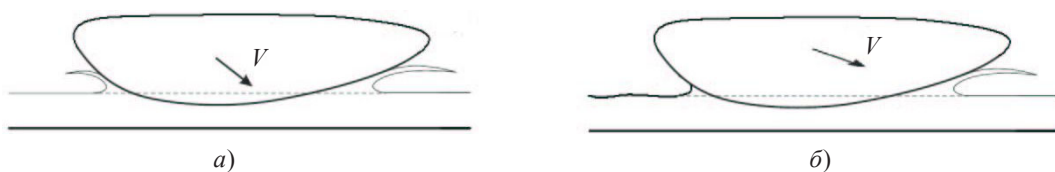


Рис. 5

ки отрыва составляет существенную проблему. Для этого необходимо дополнить постановку задачи условиями в точке отрыва.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 10-08-00076.

Список литературы

1. Korobkin A.A. // J. Fluid Mech. 1995. V. 300.

P. 43–58.

2. Khabakpasheva T.I. // J. Fluids and Structures. 2009. V. 25, No 3. P. 431–444.

3. Arai M., Miyauchi T. // Proc. of Conf. on Practical Design of Ships and Mobile Structure (PRADS'98), the Hague, Netherlands. 1998. P. 59–68.

4. Sun H., Faltinsen O.M. // Proc. of 4-th Int. Conf. on Hydroelasticity in Marine Technology. Wuxi, China. 2006. P. 149–158.

IMPACT OF ELASTIC BODIES ONTO THIN LAYER OF THE FLUID

T.I. Khabakpasheva, A.A. Korobkin

Non-linear problems of vertical immersion of cylindrical and spherical shells into a thin layer of fluid as well as a problem of oblique impact of a hollow rigid body on a thin layer of fluid were investigated. In all problems the fluid was considered as an ideal incompressible liquid, with potential motion only. For analysis of hydro-dynamic component of the problems the method of matched asymptotic expansions was used. For the solution of the elastic component of the problems the normal-mode method was applied. In the problem of oblique impact of a hollow rigid body on a thin layer of fluid the location of the separation point of the free fluid boundary from the smooth surface of the moving body was determined.

Keywords: impact, elastic body, thin liquid layer, matched asymptotic expansions, separation.