

УДК 531.662

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН ОТ ПРОДОЛЬНОГО УДАРА
ПО ОБОЛОЧКАМ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ
С НУЛЕВОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНОЙ СРЕДИННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

© 2011 г.

Р.Ф. Мухутдинов, Ф.Г. Шигабутдинов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ktm80@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Геометрически нелинейные дифференциальные уравнения продольно-поперечных движений тонкой изотропной и ортотропной оболочек типа Тимошенко, учитывающие сдвиг и инерцию вращения [1], используются для анализа продольно-поперечных движений цилиндрических и конических оболочек переменной толщины при продольных ударах абсолютно твердым телом.

Результаты решений представлены в виде двумерных и трехмерных графиков, отображающих картину волнообразования по всей поверхности оболочки.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, коническая оболочка, переменная толщина, продольный удар, продольно-поперечные движения.

Рассматриваются два типа задач: осесимметричные и неосесимметричные.

В первом случае толщина является функцией продольной координаты, оставаясь постоянной в направлении окружной координаты, во втором - толщина является функцией продольной и окружной координат и описывает симметричное распределение материала оболочки по отношению к поверхности приведения. Начальные условия соответствуют условиям удара телом по оболочке. Граничные условия принимались в виде комбинаций жесткого защемления, шарнирного опирания, свободного торцевого сечения.

Для решения дифференциальных уравнений использовался метод конечных разностей. Начальные формы поперечного движения оболочек практически симметричны. Поэтому на тестовых примерах подробно изучены осесимметричные формы движения оболочки.

Численные эксперименты проводились для большого числа отражений продольной волны от торцов. Приведены формы поперечного волнообразования (прогибы по всей длине или поверхности оболочки) для девяти пробегов продольной волны вдоль оболочек. Во всех случаях отмечалась устойчивость вычислений.

Для осесимметричных задач результаты решений представлены в виде двумерных графиков, для неосесимметричных используется трехмерное представление результатов, так прогибы показаны по всей поверхности оболочки.

Интервал времени на графиках равен време-

ни, за которое продольная волна пробегает длину, равную четверти длины оболочки. На графиках четко выражен волновой характер полученных решений, выявляется инерционность динамического процесса движения, которая проявляется в том, что области с максимальными прогибами отстают от изменения напряженного состояния по длине оболочек. Показаны характерные отличия в поведении оболочек постоянной и переменной толщины, конических и цилиндрических оболочек. Изучено влияние числа ребер на формы выпучивания оболочек. Замечено, что при достаточно большом числе ребер области с меньшей толщиной перестают качественно влиять на выпучивание оболочек, их формы движения после нескольких отражений волны приближаются к формам движения оболочек постоянной толщины. Определенные трудности вызывают способы получения геометрически нелинейных движений. Скорость удара по оболочке из реального материала ограничена скоростью звука в материале оболочки. При этих скоростях удара твердым телом оболочки ведут себя как упругие, а прогибы часто остаются малыми. При увеличении скорости удара необходимо переходить к другим моделям поведения материалов, в частности учитывать пластичность.

В целом отмечается, что в рассмотренных классах задач трудно сделать какие-либо общие выводы. Решения достаточно чувствительны к изменениям различных факторов, и каждую новую задачу приходится исследовать заново.

В качестве примера картина волнообразования в изотропной цилиндрической оболочке, изображенной на рис. 1, 2, представлена на рис. 3а, б для момента времени $T = t/t_0 = 4$, t_0 – время, за которое продольная волна один раз пробегает вдоль оболочки.

Желание приблизить результаты решения к практике потребовало рассмотрения задач о продольном ударе по части торцевого сечения. Результаты решения в этом случае также приведены в виде трехмерных графиков.

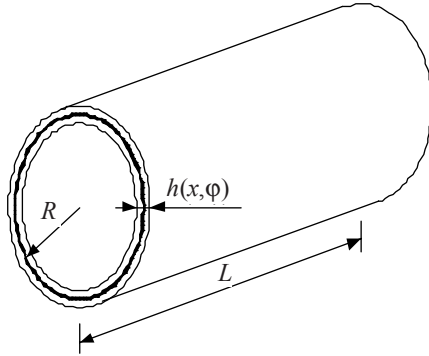


Рис. 1

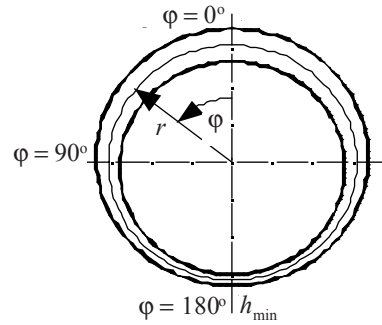
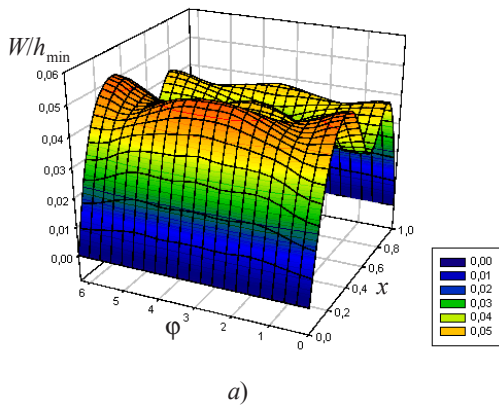
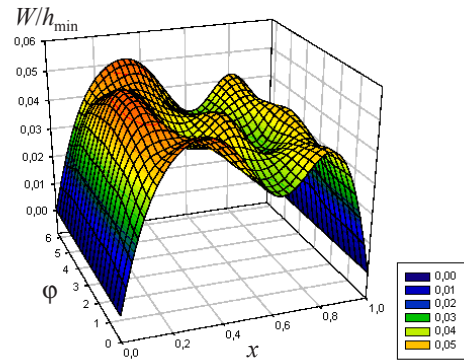


Рис. 2



а)



б)

Рис. 3

Толщина оболочки принималась симметричной относительно вертикальной оси (см. рис. 2). На рисунках оболочка развернута по дуговой координате. Прогибы оболочки отложены в вертикальном направлении.

На рисунках форма срединной поверхности представлена с двух различных точек наблюдения. По одной из осей откладывается продольная координата x , по другой – угловая координата φ (от 0 до 2π). Рисунки позволяют увидеть прогибы оболочки в любой точке. Отчетливо видна симметричность картины прогибов по угловой координате, обусловленная симметричностью поперечного сечения относительно вертикальной оси. Заметно влияние толщины на области образования максимальных прогибов в различные моменты времени.

Список литературы

1. Теория оболочек с учетом поперечного сдвига / К.З. Галимов и др. Казань: Изд-во КГУ, 1977. С. 3–132.
2. Гордиенко Б.А. Ударное выпучивание упругих систем // Изв. АН СССР. МТТ. 1971. №4. С. 109–115.
3. Шигабутдинов Ф.Г., Муртазин Р.З., Мухутдинов Р.Ф. Влияние ступенчато-переменной толщины на выпучивание ортотропных цилиндрических оболочек под действием продольной ударной нагрузки // Прикладная математика и механика: Сб. науч. трудов / УлГТУ. Ульяновск, 2004. С. 146–149.
4. Шигабутдинов Ф.Г., Муртазин Р.З., Мухутдинов Р.Ф. // Труды XXI Междунар. конф. по теории оболочек и пластин. Саратов. 2005. С. 229–235.
5. Муртазин Р.З., Мухутдинов Р.Ф. Распространение упругих волн, возникающих при ударе твердым телом по цилиндрическим и коническим оболочкам переменной толщины // IX Всерос. съезд по теоретич.

и прикладной механике: Аннотации докладов. Т. III. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. С. 155–156.

**DISTRIBUTION OF ELASTIC WAVES OF A LONGITUDINAL IMPACT ON SHELLS
OF A VARIABLE THICKNESS WITH ZERO GAUSS CURVATURE OF THE MIDDLE SURFACE**

R.F. Mухutdinov, F.G. Shigabutdinov

Geometrically nonlinear differential equations of longitudinal-transversal movements of thin isotropic and orthotropic shells of Timoshenko-type accounting for shear and inertia of rotation [1], are used to analyze longitudinal-transversal movements of cylindrical and conic shells of variable thickness under longitudinal impact by absolutely hard bodies. The results of the analysis are presented in the form of two-dimensional and three-dimensional diagrams displaying the picture of wave formation on the entire surface of the shell.

Keywords: cylindrical cover, conic cover, variable thickness, longitudinal blow, longitudinal-cross-section movements.