

Устойчивость ортотропных оболочек под воздействием динамической нагрузки

И.В. Каменев, СПбГКУ «ЦРТПиПЧС»

Слайд 1:

Оболочечные конструкции широко используются в разных областях техники, и их исследование важно для многих прикладных задач. Так, они применяются в строительстве и в машиностроении. Данные конструкции находятся под воздействием различных нагрузок.

Слайд 2:

Рассмотрим пологие оболочки прямоугольного плана в геометрически нелинейной постановке в рамках теории оболочек Тимошенко-Рейснера, учитывающей поперечные сдвиги. Срединная поверхность оболочки толщиной h принимается за координатную. Оси x, y ортогональной системы координат направлены по линиям главных кривизн оболочки. Ось z ортогональна срединной поверхности и направлена в сторону вогнутости.

Контур оболочки закреплен шарнирно-подвижно, действует динамическая равномерно-распределенная по площади и линейно меняющаяся по времени нагрузка $q(t)$ (Рисунок 1).

Слайд 3:

В качестве математической модели деформирования оболочечной конструкции воспользуемся уравнениями в смешанной форме, полученными в работе (2) списка литературы. После некоторых упрощений и добавления кинематического члена, для гладких пологих оболочек двойкой кривизны получим (1):

Описанные выше уравнения представляют собой систему уравнений равновесия в смешанной форме для оболочек из ортотропного материала с учетом геометрической нелинейности и поперечных сдвигов. Неизвестными функциями здесь являются $W(x, y)$, $\Phi(x, y)$, $\Psi_x(x, y)$, $\Psi_y(x, y)$.

Алгоритм исследования приведенной модели основан на методах Власова-Канторовича и Рунге-Кутты.

Слайд 4:

Рассматривались конструкции 3 разных геометрий (Таблица 1) из 4 разных материалов (Таблица 2). Таким образом, всего было исследовано 12 конструкций.

Расчет проводился на нагрузку $q(t) = A \times t$, где A – числовой коэффициент скорости нагружения, МПа/с. В данной работе $A^1 = 2.44$ МПа/с и $A^2 = 4.88$ МПа/с.

Слайд 5:

На рисунках 2-5 представлены графики кривых «Нагрузка – наибольший прогиб» для оболочек 1го варианта геометрии. Регулярной линией показан прогиб при статической нагрузке, полученный в работе (3) списка литературы, штрих-пунктирной – при скорости нагружения A^1 , штрихом – при A^2 .

Слайд 6:

На рисунках 6-9 представлены графики кривых «Нагрузка – наибольший прогиб» для оболочек 2го варианта геометрии.

Слайд 7:

Значения критических нагрузок потери устойчивости приведены в таблице. Здесь q^{st} – значение, соответствующее расчетам на статическое нагружение; q^1 – на динамическое нагружение с коэффициентом скорости нагружения A^1 , $q^2 – A^2$; t^1 и t^2 – соответствующее данным нагрузкам время.

Как видно из представленных графиков и таблиц, при статическом нагружении критическая нагрузка потери устойчивости меньше, чем при динамическом, что особенно заметно для варианта геометрии 3. Также отметим, что при увеличении скорости нагружения критическая нагрузка потери устойчивости возрастает, но при этом потеря устойчивости происходит раньше. После потери устойчивости оболочка начинает совершать колебательные движения вокруг нового равновесного состояния.

Наиболее оптимальным среди рассмотренных материалов можно считать E-Glass/Ероху благодаря высоким значениям критических нагрузок потери устойчивости оболочек, выполненных из данного материала.

Слайд 8:

В ходе исследования рассматривались пологие оболочки двоякой кривизны, прямоугольные в плане, по контуру закрепленные шарнирно-подвижно и выполненные из ортотропных материалов. Конструкции находились под воздействием поперечной равномерно-распределенной и линейно-изменяющейся по времени нагрузки. По результатам исследования были получены следующие выводы и результаты:

1. Была разработана математическая модель деформирования таких конструкций с учетом геометрической нелинейности и поперечных сдвигов с использованием теории оболочек Тимошенко-Рейснера, что дает наибольшую точность расчетов по данной модели.

2. На основании приведенной модели был разработан алгоритм ее исследования, основанный на методах Власова-Канторовича и Рунге-Кутты, позволяющий при высокой точности решения получить быструю сходимость.

3. В среде аналитических вычислений Maple было проведено исследование устойчивости 12 конструкций, имеющих 3 набора геометрических характеристик и выполненных из 4 материалов. На основании данного исследования можно утверждать, что среди рассмотренных материалов (углепластик M60J/Эпоху, графит AS/3501/Эпоху, E-Glass/Эпоху, стеклопластик T10 UPE22-27/Эпоху) оптимальный выбор – стекловолокно E-Glass/Эпоху благодаря высоким значениям критических нагрузок потери устойчивости выполненных из него оболочек.

4. Показан эффект запаздывания, свойственный конструкциям, находящимся под воздействием динамического нагружения, который выражается в повышении критической нагрузки потери устойчивости по сравнению со статическим нагружением. Данный эффект выражается тем сильнее, чем выше скорость нагружения, при этом уменьшается время наступления потери устойчивости.

5. В дальнейшем данную модель планируется использовать для расчета ослабленных вырезами оболочечных конструкций, а также подкрепленных ребрами жесткости.