

УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ СИСТЕМ ИЗ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ РАЗНОЙ КРИВИЗНЫ

Беспалова Е.И., Яремченко Н.П.

Институт механики им. С.П. Тимошенко
НАН Ураины, г. Киев, Украина

Расчетные схемы многих конструкций современной техники представлены тонкостенными системами из соосных сопряженных оболочек вращения разных геометрических форм (резервуары различного назначения, защитные покрытия ядерных реакторов, корпуса ракет и аппаратов подводного погружения и пр.). Исследование устойчивости таких систем, находящихся при осесимметричных силовых и температурных воздействиях, позволяет определить критические значения действующих полей, тем самым предотвращая в реальных условиях эксплуатации возможность возникновения катастрофических разрушений.

Большинство работ по этой тематике связано с детальным изучением устойчивости отдельных оболочек простых форм (цилиндр, конус, кольцевая пластина, сфера) из изотропных и композитных материалов [1]. Устойчивости систем, состоящих из таких оболочек, посвящено значительно меньше исследований. Отчасти это объясняется сложностью исследования и возможностью в ряде случаев ограничиться приблизительной оценкой критических значений нагрузок для системы в целом по критическим значениям ее интуитивно выбранного наиболее «слабого» элемента. Такой подход, естественно, не исчерпывает всех ситуаций для составных систем.

В данном сообщении предлагается методика определения критических значений осесимметричных нагрузок, действующих на упругую консервативную систему из состыкованных между собой оболочек вращения разных геометрических форм.

В качестве объекта исследования выбрана система из J соосных относительно оси Oz оболочек вращения разной геометрии, общий вид образующей-меридиана которой представлен на рис. 1 ($\alpha = \{\alpha_j \in (\alpha_{0j}, \alpha_{1j})\}$ ($j = \overline{1, J}$) изменяется по меридиану-образующей, θ – центральный угол сечения $z = const$).

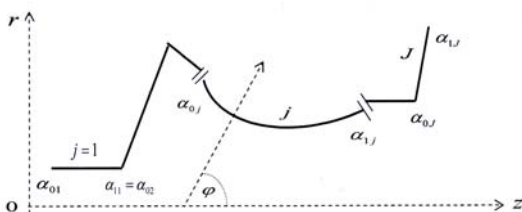


Рис. 1. Общий вид образующей-меридиана

Оболочки могут быть однослойными с непрерывной неоднородностью упругих свойств по толщине или состоять из нескольких слоев, на соприкасающихся поверхностях которых выполняются условия идеального контакта (дискретно неоднородные оболочки). Принимается, что материалы слоев могут быть изотропными или ортотропными и работают в упругой стадии деформирования в рассматриваемом диапазоне действующих нагрузок. На торцах оболочечной системы допускаются любые физически непротиворечивые граничные условия, а на линиях сопряжения двух смежных оболочек формулируются условия равновесия статических и условия неразрывности кинематических характеристик их напряженного состояния в общей системе координат $(r\theta z)$.

Рассмотренная оболочечная система находится при осесимметричных силовых и температурных воздействиях, в частности, нагрузках, распределенных по меридиану-образующей, усилиях-моментах, действующих на граничных контурах системы или сосредоточенных на линиях сопряжения составляющих элементов.

Устойчивость описанной системы при заданных воздействиях исследуется в рамках известных предположений классической модели оболочек Кирхгоффа-Лява в линейной и геометрически нелинейной (средний изгиб) постановках.

Для определения критических значений нагрузок бифуркационного выпучивания используются два критерия: статический (значение нагрузки, при котором в системе возможно появление смежных неосесимметричных форм равновесия, близких к исходной осесимметричной форме, но отличные от нее) и динамический (значение нагрузки, при котором частота колебаний предвременно напряженной системы равна нулю).

Математический аппарат решения соответствующих одномерных и двумерных краевых задач и задач на собственные значения представлен следующими методами: методом квазилинеаризации Ньютона-Канторовича для решения задач среднего изгиба в докритической области деформирования, разложением в тригонометрические ряды Фурье по окружной координате, методом пошагового поиска, методом обратной итерации с построением отношения Релея, методом ортогональной прогонки решения линейных одномерных краевых задач.

Тестирование методики, проведенное путем сравнения с известными решениями задач для некоторых частных случаев, показало правомерность ее использования в рассматриваемом классе задач.

Приводятся примеры исследования устойчивости оболочечных систем разной Гауссовой кривизны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Obodan N, Lebedeyev O, Gromov V (2013) Nonlinear Behaviour and Stability of Thin-Walled Shells. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London