

УДК 621.45.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКРИТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

© Старкова А.А., Чернякин С.А.

e-mail: starkowa@gmail.com

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Российская Федерация

Исследуется закритическое поведение тонкостенной пологой сферической оболочки с заданной геометрией методом длины дуги [1]. Определена зависимость сосредоточенной осевой силы от прогиба в центре оболочки. Методом конечных элементов [2] построено численное решение задачи о закритическом состоянии оболочки при учете нелинейного поведения материала.

При рассмотрении данного случая большое значение имеет геометрия оболочки. Когда отношение величины выпуклости оболочки к ее длине H/L (рис. 1) – велико, критическая нагрузка $P_{кр}^0$, найденная на базе линеаризованного подхода, обычно оказывается в несколько раз больше верхней критической нагрузки $P_{кр}^B$, определяемой из нелинейного анализа. Для нахождения нижней критической нагрузки $P_{кр}^H$ необходимо исследовать закритическое поведение.

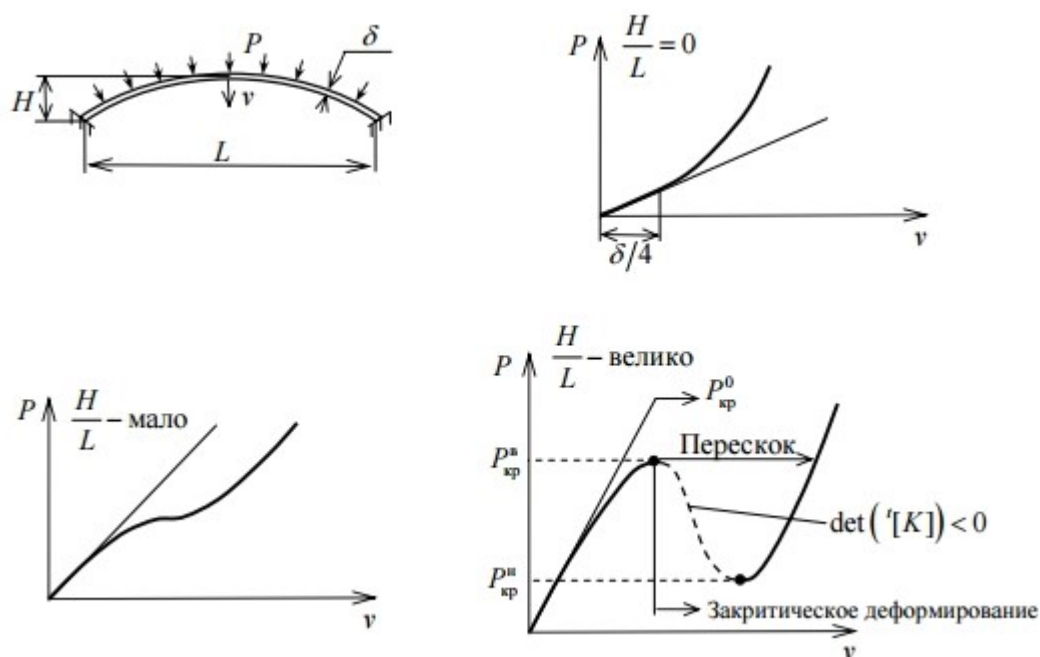


Рис. 1. Различные виды деформирования тонкой оболочки

Здесь возникает ряд вычислительных проблем, связанных с сингулярностью матрицы тангенциальной жесткости в предельных точках. Для перехода через предельные точки необходимо воспользоваться специальными приемами. Рассмотрим типичную для оболочек кривую равновесных состояний (рис. 2). Как правило, она является не однозначной по нагрузке и однозначной по перемещению, т.е. одной и той же нагрузке может соответствовать несколько равновесных конфигураций, а одному и тому же перемещению – только одно состояние равновесия. Это обстоятельство указывает на необходимость в таких ситуациях смены управляющего параметра, когда

вместо приращений нагрузки задаются приращения перемещений и вычисляются соответствующие реакции, характеризующие внешнюю нагрузку. Однако такой подход применим лишь в случае действия сосредоточенной нагрузки.

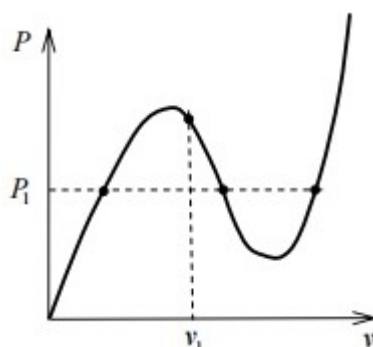


Рис. 2. Типичная для оболочек кривая равновесных состояний

Одним из универсальных приемов перехода через предельные точки является метод длины дуги (arc-length method), который в настоящее время чаще других используется в МКЭ-пакетах для исследования закритического деформирования тонкостенных конструкций. Он является, по сути дела, методом автоматического выбора шага по нагрузке на основе перемещений. Здесь в процессе выполнения итераций нагрузка и перемещения изменяются одновременно. В данном методе вводятся дополнительные уравнения связей, чтобы ограничить длину дуги кривой равновесных состояний (в пространстве нагрузка – перемещение) некоторым предписанным значением, как показано на рисунке 3. На первом шаге длина дуги определяется исходя из полной нагрузки и заданного числа шагов (или подшагов в программе ANSYS). На каждом последующем шаге новая длина дуги вычисляется на основе длины дуги предыдущего шага и поведения решения (т.е. в зависимости от степени нелинейности).

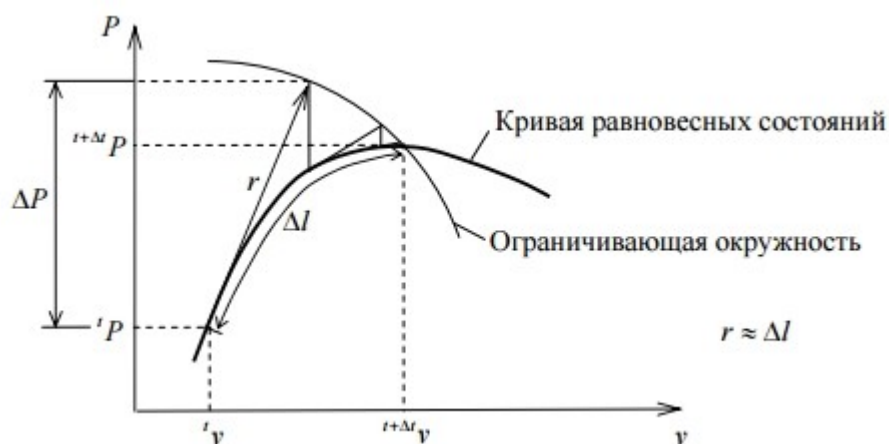


Рис. 3. Геометрическая интерпретация метода длины дуги

Результаты работы имеют прикладное значение для разработки методов расчета конструктивных элементов сферической структуры, расчета сферических оболочек малой жесткости (специальных элементов энергоустановок аэрокосмической техники).

Библиографический список

1. Скворцов Ю.В. Компьютерное моделирование. [Текст]/ Ю.В. Скворцов - Самара, 2013.- 108 с.
2. Григоренко Я.М. Решение нелинейных задач теории оболочек на ЭВМ. [Текст]/ Я.М. Григоренко, А.П. Мукоед – Киев: Вища школа, 1983. – 286 с.