

УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ С ЛОКАЛЬНЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ ФОРМЫ

Дорофеев В.С., Коломийчук Г.П. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина)

Реальные металлические оболочки при изготовлении имеют начальные несовершенства формы. Исследовано влияние локальных ограниченных начальных несовершенств срединной поверхности на потерю устойчивости в зависимости от положения вмятины на плане оболочки для разных подъемистостей.

В настоящее время может считаться общепризнанным тот факт, что различные случайные несовершенства играют существенную роль в проблеме устойчивости реальных оболочек [1, 2].

Начальные возмущения оболочек могут быть классифицированы следующим образом: 1) несовершенства формы – начальные погибы или вмятины, отклонения фактических размеров от заданных; 2) несовершенства напряженного состояния – наличие полей самоуравновешенных начальных напряжений, полей макросвойств материала и т.п.; 3) несовершенства воздействий – отклонение реальных условий загрузки от расчетных, пульсация нагрузки; 4) несовершенства граничных условий. Наиболее опасными, как правило, оказываются несовершенства формы [3].

Исследования влияния начальных прогибов можно распределить на четыре группы: 1) произвольные начальные прогибы – обычно это работы посвящены численному решению на ЭВМ соответствующих уравнений [4]; 2) начальные прогибы копирующие форму потери устойчивости оболочки идеальной формы, – исследования начального послекритического состояния и чувствительности к начальным прогибам [5]; 3) начальные прогибы частных видов – вмятины, плоские участки и т.д. [6]; 4) случайные начальные прогибы [2, 3].

Поведение моделей пологих прямоугольных в плане оболочек под действием поперечной нагрузки с замерами полей начальных прогибов рассмотрено в работах [3, 4].

Волосович О.В. и Тимашев С.А. [7] испытали двадцать моделей квадратных сферических оболочек большой кривизны из сплава АМц-М с размерами сторон 300 мм, радиусом кривизны 549,9 мм, толщиной 0,4 мм. Модели изготовляли оттяжкой на текстолитовой матрице.

Анализ замеров начальных несовершенств моделей показывает, что средние амплитуды начальной погиби не превышают 0,15 толщины, а максимальные (в виде отдельных крайне редких выбросов) – 0,39 толщины оболочки. Неправильности имеют вид отдельных хаотически расположенных не сообщающихся вмятин произвольной формы, близкой к эллиптической.

Истинная структура поля начальных несовершенств обрабатывалась методами селективных преобразований и локального сканирования.

Выпучивание чаще всего происходило с образованием: одной вмятины (65%); двух вмятин (25%); трех вмятин (5%); четырех одинаковых вмятин (5%).

Основной вывод – начальные несовершенства являются главным фактором, который снижает критическую нагрузку, поскольку все остальные условия экспериментов оставались неизменными. Они имеют ярко выраженный локальный характер и служат первичными «очагами» выпучивания.

Решение задачи о потере устойчивости упругих оболочек двойной кривизны для объяснения различий теоретических и экспериментальных данных выполненных с использованием метода начальных несовершенств. Согласно этому методу вместо совокупности всех начальных несовершенств оболочки, вводится начальное эквивалентное отклонение от идеальной формы W_0^3 [8].

Обычно величина W_0^3 раскладывается в функциональный ряд с неизвестными коэффициентами и исследуется их влияние на величину критической нагрузки [1]. Но так как начальные несовершенства носят случайный характер, то задание этих коэффициентов становится некоей самостоятельной задачей, связанной с конкретной технологией изготовления и статистическим анализом несовершенств. Более перспективным представляется другой путь [9]. Можно задать ограничения на величину W_0^3 и найти такие значения коэффициентов, которые в наибольшей степени уменьшают критическую нагрузку при этих ограничениях.

Выделим форму несовершенства в виде локальной ограниченной вмятины. Здесь k – максимальное амплитудное значение в центре

вмятины ($k \leq h$, где h – толщина оболочки). Положение вмятины на плане оболочки определяется точками конечно-разностной сетки, совпадающими с центром вмятины (i, j). Минимальные размеры вмятины на плане оболочки зависят от расстояния между узлами конечно-разностной сетки и назначаются таким образом, чтобы количество узлов в направлении координатных осей X (Y) было не менее трех внутри области вмятины. В узлах определяются аппликаты отклонения геометрии вмятины от срединной поверхности оболочки и служат исходными данными при формировании разрешающей системы уравнений [10].

Гладкие оболочки положительной гауссовой кривизны при действии равномерно распределенной «мертвой» нагрузки теряют устойчивость по-разному, в зависимости от параметра кривизны.

Будем различать пологие оболочки по величине параметра кривизны $\bar{k} = a^2/(R_1 h) + b^2/(R_2 h)$ так: $\bar{k} \leq 60$ – малая; $60 < \bar{k} \leq 200$ – средняя; $200 < \bar{k} \leq 1000$ – большая; $\bar{k} > 1000$ – очень большая.

Оболочки малой кривизны $\bar{k} < 60$ теряют устойчивость с прощелкиванием всего поля; средней, большой и очень большой кривизны выпучиваются с образованием изолированной одиночной вмятины в углу, захватывающей не более 10% поверхности оболочки.

Для числового эксперимента выделим симметричный случай расположения вмятины на плане оболочки. Закрепление на контуре – шарнирное. Изменение параметра кривизны в диапазоне от $\bar{k} = 40$ до $\bar{k} = 800$.

В таблице приведены значения максимального относительного дополнительного прогиба для разного положения вмятины на плане оболочки в момент потери устойчивости.

По результатам числового эксперимента построен график изменения критической нагрузки осесимметричного деформирования несовершенных оболочек разной подъемистости q_0 в отношении к критической нагрузке совершенной оболочки q (рис.).

Самой неблагоприятной вмятиной для оболочек с кривизной $(\bar{k}) = 40$ оказалась вмятина (6,6); для оболочек с кривизной $(\bar{k}) = 120$ – (3,3); для остальных подъемистостей – вмятина (2,2). Вмятины (4,4), (6,6) и (7,7) при кривизнах $(\bar{k}) \gg 600$ увеличивают значение критической нагрузки.

**Максимальный относительный прогиб потери устойчивости
оболочек разной подъемистости**

Узел центра вмятины	Максимальный относительный дополнительный прогиб (w)					
	кривизна (\bar{k})					
	40	120	200	400	600	800
1	2	3	4	5	6	7
	1,199 <i>(7,7)</i>	0,827 <i>(3,3)</i>	0,655 <i>(3,3)</i>	0,656 <i>(2,2)</i>	0,844 <i>(2,2)</i>	1,056 <i>(2,2)</i>
2,2	1,254 <i>(7,7)</i>	0,715 <i>(3,3)</i>	0,208 <i>(2,2)</i>	0,351 <i>(2,2)</i>	0,562 <i>(2,2)</i>	0,787 <i>(2,2)</i>
3,3	1,053 <i>(7,7)</i>	0,570 <i>(3,3)</i>	0,570 <i>(3,3)</i>	0,684 <i>(2,2)</i>	0,844 <i>(2,2)</i>	1,053 <i>(2,2)</i>
4,4	1,526 <i>(7,7)</i>	0,605 <i>(4,4)</i>	0,671 <i>(4,4)</i>	0,991 <i>(4,4)</i>	0,998 <i>(4,4)</i>	1,127 <i>(4,4)</i>
6,6	0,706 <i>(7,7)</i>	0,801 <i>(6,6)</i>	0,706 <i>(6,6)</i>	0,742 <i>(6,6)</i>	0,859 <i>(6,6)</i>	1,056 <i>(2,2)</i>
7,7	0,902 <i>(7,7)</i>	0,626 <i>(7,7)</i>	0,647 <i>(7,7)</i>	0,881 <i>(7,7)</i>	0,917 <i>(7,7)</i>	1,062 <i>(7,7; 2,2)</i>

Выводы

1. Локальные неограниченные начальные несовершенства оказывают неблагоприятные воздействия на устойчивость металлических оболочек положительной гауссовой кривизны при равномерно-распределенном нагружении.
2. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании реальных пологих металлических оболочек.

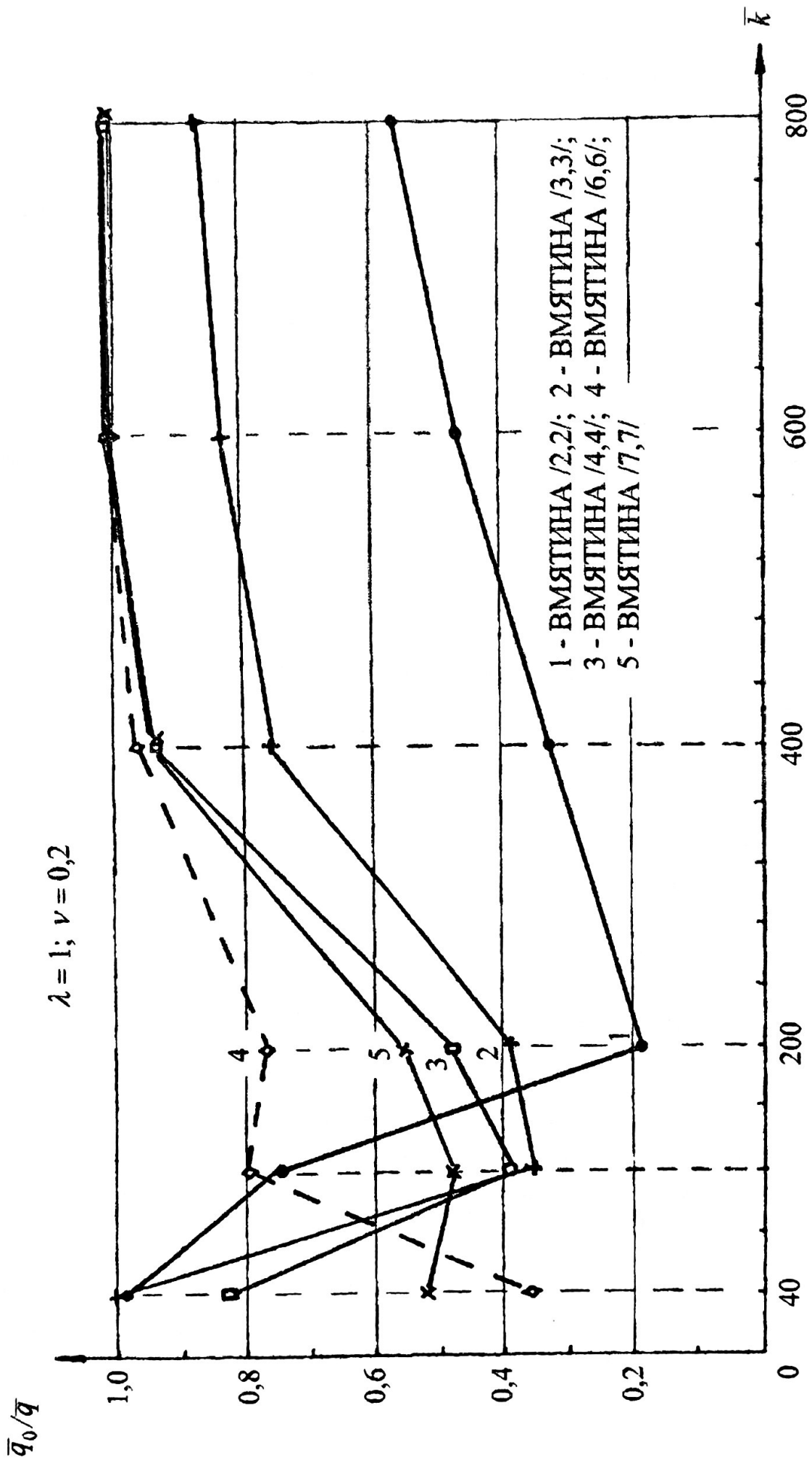


Рис. 4.6. Критические нагрузки осесимметричного деформирования
 несовершенных оболочек разной подъемности

Литература

1. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. – М.: Наука, 1978. – 360 с.
2. Тонкостенные оболочечные конструкции: теория, эксперимент и проектирование // Сборник трудов. – М.: Машиностроение, 1980, – 607 с. 160.
3. Тимашев С.А. Устойчивость подкрепленных оболочек, – М.: Стройиздат, 1974. – 256 с.
4. Кантор С.Л., Тимашев С.А. Метод начальных несовершенств в задачах устойчивости оболочек // Исследования по теории сооружений. – М.: 1987. – Вып. 25. – С. 46-56.
5. Рикардс Р.Б., Тетерс Г.А. Устойчивость оболочек из композитных материалов. – Рига: Зинатне, 1974. – 310 с.
6. Кузнецов В.К., Липовцев Ю.В. Влияние локальных несовершенств на устойчивость цилиндрической оболочки при осевом сжатии // Изв. АН СССР. Механика твердого деформируемого тела, 1970. – № 1. – С. 134-136.
7. Волосович О.В., Тимашев С.А. Начальные несовершенства и форма потери устойчивости прямоугольных выпуклых оболочек // Труды 8 Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. – М.: Наука, 1973. – С. 254-258.
8. Доннелл Л.Г. Балки, пластины и оболочки. – М.: Наука, 1982. – 568 с.
9. Якушев В.Л. Определение экстремальных критических нагрузок при заданных ограничениях на начальные неправильности // Вопросы гидродинамики, аэрофизики и прикладной механики. – М.: Изд. МФТИ, 1985. – С. 117-123.
10. Коломийчук Г.П., Ярцев А.В. Влияние локальных ограниченных вмятин на трещинообразование пологих железобетонных оболочек // Вісник ОДАБА. – Одесса: ВМК «Місто майстрів». – 2001. – № 3. – С. 54-57.