

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ФОРМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПЛАСТМАССОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАМКНУТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

Коломийчук Г.П.

В настоящее время может считаться общепризнанным тот факт, что различные случайные несовершенства играют решающую роль в проблеме устойчивости реальных оболочек.

Начальные возмущения оболочек могут быть классифицированы следующим образом:

- 1) несовершенства формы – начальные прогибы 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. Их можно классифицировать так:

- 1) произвольные начальные прогибы;
- 2) начальные прогибы копирующие форму потери устойчивости оболочки идеальной формы;
- 3) начальные прогибы частных видов – вмятины, плоские участки;
- 4) случайные начальные прогибы.

Потребность в надежных конструктивных элементах послужила толчком в постановке тщательных экспериментов на моделях цилиндрических оболочек.

В эксперименте Теннисона /1/ испытывались оболочки из фотоупругой пластмассы, изготовленные центробежным литьем. Модели имели хорошие упругие свойства, что позволяло производить многократные испытания на одном и том же образце. Размеры их были такие: $R = 10,55$ см, $h = 0,0586$ см, $L = 41,0$ см. Разностенность не превышала 6%. Испытания проводились на жесткой испытательной машине. Величина критической нагрузки соответствовала $\lambda = 0,90$. Форма потери устойчивости, полученная фотоупругим способом, в первоначальной стадии выпучивания близко соответствовала форме, предсказанной линейной теорией. При увеличении нагрузки эта форма переходила в характерную для больших прогибов ромбовидную форму.

Эксперименты с оболочками, имеющими локальные осесимметричные вмятины проводили Хатчинсон, Теннисон и Маггеридж /2/. Каждая форма неправильности осуществлялась с помощью металлического шаблона, имеющего требуемую амплитуду и длину волны. Вмятина описывалась формой волны в виде

$$w_0(x) = -\frac{h}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi x}{l_x} \right); \quad -l_x \leq x \leq l_x \quad (1)$$

где l_x – длина полуволны вмятины в осевом направлении;
 w_0 – начальный прогиб;
 h – толщина оболочки.

Один из образцов потерял устойчивость при 91,9% от классической критической нагрузки.

Основной вывод – в хорошо поставленном эксперименте должна реализоваться верхняя критическая нагрузка.

Экспериментальные данные, полученные в опытах на моделях замкнутых цилиндрических оболочек из металла и композитных материалов под действием осевой нагрузки, приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1.1.

| № | $\frac{L}{R}$ | $\frac{R}{h}$ | Кол-во | $\lambda = \frac{P}{P_{кл}}$ | $\frac{w_{0, \max}}{h_{cp}}$ | Материал | Автор |
|---|---------------|---------------|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------|-------|
| 1 | 2,65 | 100÷180 | 7 | 0,530÷0,760 | 0,065÷0,118 | Фотоупругая пластмасса | /3/ |
| 2 | 2,80 | 195 | 2 | 0,689÷0,706 | 0,083÷0,084 | – " – | /3/ |
| 3 | 2,80 | 180÷195 | 5 | 0,628÷0,706 | 0,088÷0,112 | – " – | /3/ |
| 4 | 3,00 | 226÷630 | 7 | 0,345÷0,919 | 0÷0,773 | – " – | /2/ |
| 5 | 4,00 | 310÷320 | 14 | 0,245÷0,387 | 0,2÷0,929 | Л-62 | /4/ |
| 6 | 5,00 | 138÷174 | 10 | 0,100÷0,219 | 0,275÷0,543 | АМГ-6М | /4/ |
| 7 | 5,00 | 283÷488 | 14 | 0,131÷0,316 | 0,576÷1,450 | Я1Т | /4/ |

Учитывая, что между w_0/h и λ (рис. 1) явно нелинейная зависимость, выполнена статистическая обработка экспериментальных данных.

Для проверки применимости нормального закона распределения к описанию разброса результатов опытов при небольшом числе данных использованы статистические характеристики: асимметрия A (отклонение кривой распределения от симметричной формы); эксцесс E ("крутизна" кривой дифференциальной функции распределения) [5].

Поскольку $A = 0,1987$ и $E = -0,2361$ оказались меньше номинальных значений $A_{\text{ном}} = 0,3208$, $E_{\text{ном}} = 0,5892$, т.е. расположены в допустимой зоне, то была подобрана по методу наименьших квадратов теоретическая линия регрессии. Она принята в виде полинома второй степени с вычислением значений коэффициентов по стандартной программе

$$\lambda^{\text{теор}} = 0,748 - 0,794 (w_0/h) + 0,274 (w_0/h)^2. \quad (2)$$

Коэффициент вариации n составил 0,174.

Выводы: 1. При отсутствии экспериментальных данных на моделях замкнутых цилиндрических оболочек значение верхней критической нагрузки можно определять с учетом начальных несовершенств формы используя зависимость (2).

2. Тонкостенные трубчатые элементы, работающие на осевое сжатие, должны подвергаться контролю на наличие начальных несовершенств формы.

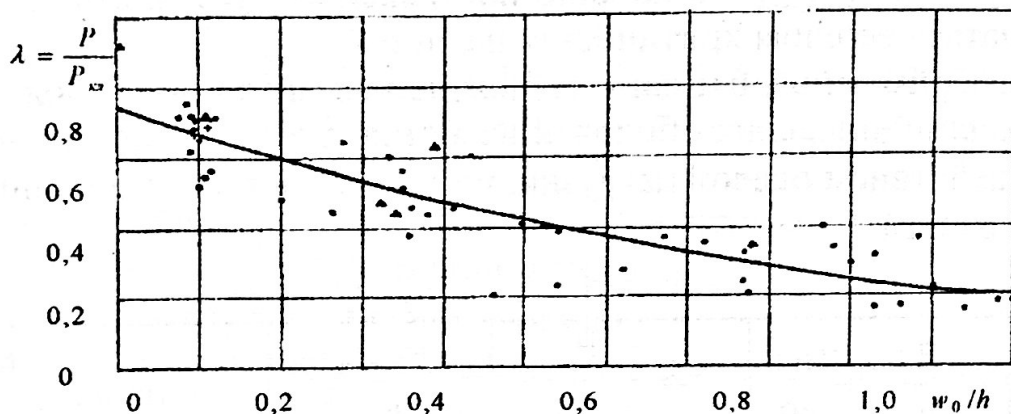


Рис. 1. Результаты опытов по устойчивости цилиндрических оболочек (Δ – из работы /2/; +, \circ – из /3/; \bullet – из /4/)

Литература

1. Tennyson R.C. Buckling of circular cylindrical shells in axial compression // AIAA Journal. – 1964. – vol. 2. – № 7. – pp. 1351 – 1353.
2. Хатчинсон Д.В., Теннисон Р.Ц., Маггеридж Д.Б. Влияние локальной осесимметричной неправильности формы на выпучивание круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии // Ракетная техника и космонавтика, 1971. – т. 9. – № 1. – С. 48 – 52.
3. Теннисон Р.Ц., Маггеридж Д.Б., Касуэлл Р.Д. Устойчивость круговых цилиндрических оболочек имеющих осесимметрично распределенные начальные несовершенства // Ракетная техника и космонавтика, 1971. – т. 9. – № 5. – С. 195 – 203.
4. Коц В.М., Липовский Д.Е. Экспериментальное исследование устойчивости цилиндрических оболочек с учетом начальных возмущений // Труды VI Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. – М.: Наука, 1966. – С. 509 – 515.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 480 с.