

В.И.Леонов

О ВЛИЯНИИ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ЖЕСТКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ  
НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ  
ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования [1 - 3], напряжения, возникающие в цилиндрической оболочке при передаче на нее нагрузок через круглое жесткое включение, достигают весьма высокого уровня. Один из способов снижения напряжений - рациональный выбор формы включения. Эти вопросы изучались теоретико-экспериментальным методом А.В.Саченковым и Ю.Г.Коноплевым [4]. В настоящей работе исследуется влияние эллиптичности жесткого включения на напряженно-деформированное состояние оболочки при передаче на нее нормальной к срединной поверхности нагрузки.

Рассмотрим круговую цилиндрическую оболочку ( $R$ ,  $h$  - радиус срединной поверхности и толщина оболочки) с жестким эллиптическим включением (рис. 1), к которому приложена нормальная к срединной поверхности сила  $P_{\xi}$ . В качестве характерного линейного размера выбрана величина  $r_0 = \sqrt{ab}$ . Ось  $\xi$  направлена по образующей цилиндрической оболочки, ось  $\eta$  - по направляющей.

При решении задачи используется подход, описанный в работе [2], согласно которому расчет оболочки заменяется расчетом круглой панели достаточно большого размера. Решение дифферен-

циального уравнения пологой цилиндрической оболочки относительно

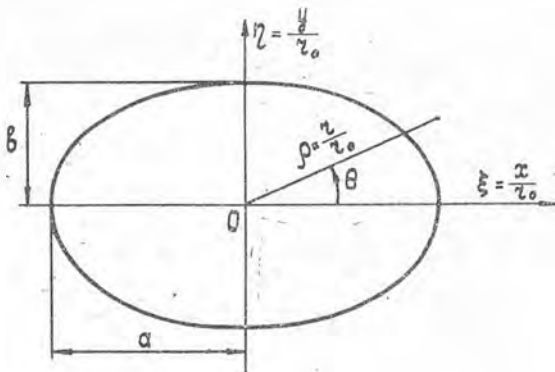


Рис. 1

но комплексной функции напряжений [5] возьмем в виде суммы двух слагаемых. Первое - решение однородного уравнения в полярных координатах  $\rho$ ,  $\theta$  (см.рис.1) для напряженного состояния, симметричного относительно осей  $\xi$  и  $\eta$  [6]. Второе - фундаментальное решение уравнения пологой цилиндрической оболочки, соответствующее действию сосредоточенной силы  $\mathcal{P}_3$  [1, 7]. Произвольные постоянные, содержащиеся в решении однородного уравнения, определялись из граничных условий на внешнем контуре панели (шарнирное опирание) и на линии спая с жестким включением. Граничные условия по контуру включения, выражающие равенство перемещений оболочки и жесткого включения, удовлетворялись в конечном числе точек (метод граничных коллокаций). Количество точек в расчетах достигало 24.

Вычисления выполнялись на ЭВМ БЭСМ-4 при значении коэффициента Пуассона  $\mu = 0,3$ . В качестве безразмерных параметров, полностью характеризующих геометрию эллиптического включения, выбраны

$$\omega = \frac{1}{2} \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} \frac{r_0}{\sqrt{Rh}} \quad \text{и} \quad \kappa = \frac{a}{b}$$

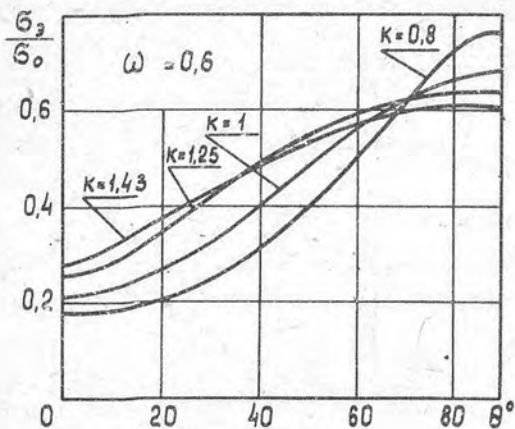


Рис. 2

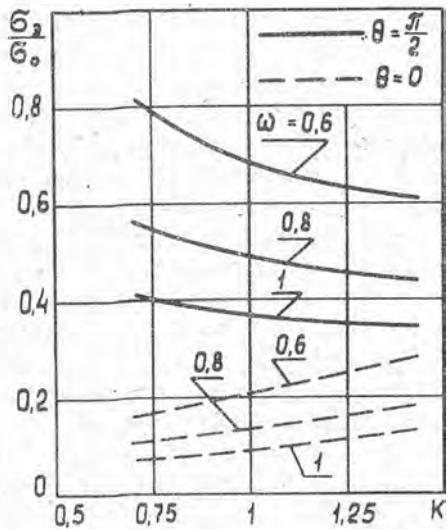


Рис. 3

При фиксированных  $R$  и  $h$  параметр  $\omega$  характеризует площадь включения. Значению параметра  $k=1$  соответствует круглая форма жесткого включения радиуса  $r_0$ .

На рис. 2 показано распределение наибольших эквивалентных напряжений  $\sigma_3$  по контуру спая оболочки с включением для ряда значений параметра  $k$  при  $\omega=0,6$ . Эквивалентные напряжения вычислялись по теории прочности энергии формоизменения. Напряжения относились к  $\sigma_0 = \frac{\sigma}{h^2}$ . По мере увеличения  $k$  наибольшие напряжения в оболочке, имеющие место при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , падают, в то время как при  $\theta=0$  напряжения растут. Зависимость эквивалентных напряжений от величины  $k$  для различных значений параметра  $\omega$  в наиболее характерных точках ( $\theta=0$  и  $\theta=\frac{\pi}{2}$ ) приведена на рис. 3. Из полученных результатов следует, что увеличение кривизны контура на некотором участке жесткого включения приводит в этом месте к росту напряжений в оболочке. При уменьшении параметра  $k$  максимальные напряжения, а также жесткость оболочки возрастают. Таким образом, в рассматриваемом диапазоне изменения  $k$  более выгодными в смысле прочности являются эллиптические включения, вытянутые вдоль образующей оболочки.

### Л и т е р а т у р а

1. Леонов В.И., Хазанов Х.С. К расчету искривленных круглых пластин на нормальные сосредоточенные воздействия. "Вопросы прикладной механики в авиационной технике". Труды КуАИ, вып. 63, 1972.
2. Леонов В.И., Хазанов Х.С. Расчет цилиндрической оболочки под действием локальных нагрузок, приводящихся к изгибающему моменту относительно образующей. "Вопросы прикладной механики в авиационной технике", Труды КуАИ, вып. 66, 1973.
3. Hennig E. Experimentelle und analytische Untersuchung der Spannungsverteilung in örtlich belasteten dünnwandigen zylindrischen Schalen. Fortschritt Berichte VDI - Zeitschrift. R.1. Nr 33. 1971.

4. Коноплев М.Г., Саченков А.В. Исследование напряженного состояния круговой цилиндрической оболочки с жесткой площадкой за-  
грузки. В сб. "Исследования по теории пластин и оболочек",  
№ 4, изд-во КГУ, Казань, 1966.
5. Лурье А.И. Статика тонкостенных упругих оболочек. ОГИЗ, 1947.
6. Хазанов Х.С. К расчету цилиндрических оболочек с круглыми от-  
верстиями. "Вопросы прочности элементов авиационных конструк-  
ций". Труды КуАИ, вып. 29, 1967.
7. Савельев Л.М., Хазанов Х.С. К интегрированию уравнения пологой  
цилиндрической оболочки в полярных координатах. "Вопросы проч-  
ности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 48,  
1971.