

графики получены для случая $\alpha_{рх} = 20^\circ$ и $\alpha_{рх} = 10^\circ$.

С целью сравнения полученных результатов с результатами, указанными в [2], на рис. 3 представлен график погрешности (I), рассчитанный в соответствии с аналитическим выражением, полученным в [2], для случая $\lambda = 54^\circ$ и $\psi = 52^\circ$, $\psi = 56^\circ$.

Как видно из приведенных графиков, оценка погрешности измерения согласно выражению (19) оптимальна по сравнению с существующей в настоящее время оценкой.

Л и т е р а т у р а

1. Контроль угловых перемещений. Руководящие технические материалы - РТМ-1424, НИАТ, 1875.
2. Борисовский В.М., Колманович Г.Н. Случайные погрешности чувствительного элемента маятниковых угломеров. - Труды института, № 364, НИАТ, 1976.

УДК 629.7.023

И.В. Елатонцева, О.Н. Корольков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК, РАБОТАЮЩИХ НА СЖАТИЕ, И АНАЛИЗ ИХ ВЕСОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Рассматриваются цилиндрические оболочки произвольного радиуса R , загруженные осевой сжимающей силой N .

Исследуются три типа заполнителей - складчатый, пилообразный и сотовый. Для каждого из них отыскиваются оптимальные параметры из условия равенства критических напряжений по общей и местной формам потери устойчивости. Чтобы учесть различную степень нагруженности оболочки и произвольность ее размеров, введен коэффициент напряженности

Складчатый заполнитель. Для определения критических напряжений используются выражения, приведенные в [1], [2], [3]. Метод оптимизации параметров складчатого заполнителя изложен в работе [4]. За пределом пропорциональности пересчет критических напряже-

ний производится по формулам:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{\delta} - (\sigma_{\delta} - \sigma_{лц}) \sqrt{\frac{\sigma_{лц}}{\sigma_{\delta}}}$$

при $\sigma_{\delta} > \sigma_{лц}$;

$$\sigma_{кр} = \sigma_{\delta} \text{ при } \sigma_{\delta} < \sigma_{лц}.$$

По результатам вычислений на ЭВМ строились графики зависимости оптимальных параметров оболочки \bar{H} и $\bar{\sigma}_2$ от коэффициента напряженности ρ , где

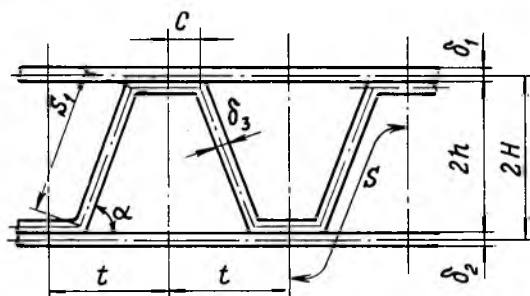
$$\bar{H} = \frac{2H}{R} \quad - \text{ относительная высота оболочки;}$$

$$\bar{\sigma}_2 = \frac{\sigma_2}{R} \quad - \text{ приведенная относительная толщина оболочки,}$$

$$\text{где } \sigma_2 = 2\sigma_1 + \frac{\sigma_3}{\cos\alpha} \left[1 - \frac{2c}{t} (1 - \cos\alpha) \right].$$

Схема складчатого заполнителя представлена на рис. 1. В процессе расчета варьировались следующие параметры:

α - угол наклона пластин заполнителя к внешним слоям,



Р и с. 1. Схема складчатого заполнителя

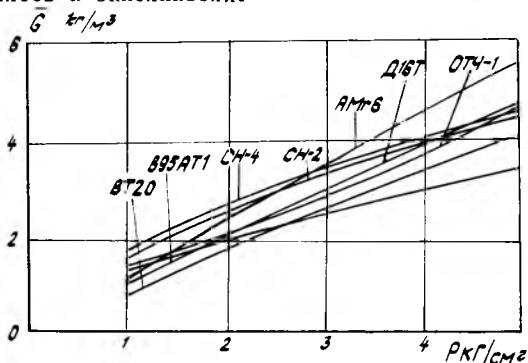
$$\bar{c} = \frac{c}{t} \quad - \text{ относительная ширина контактной площадки заполнителя,}$$

$$k = \frac{\delta_1}{\delta_3} \quad - \text{ отношение толщины несущего слоя к толщине заполнителя,}$$

$$\lambda = \frac{L}{2\pi R} \quad - \text{ удлинение оболочки,}$$

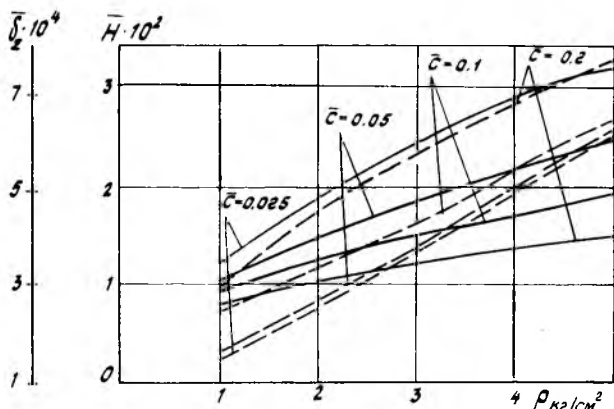
L - длина оболочки.

Оценка влияния параметров заполнителя и характеристик принятого материала на вес конструкции производится по удельному весу оболочки $\bar{G} = \gamma \bar{\sigma}_\Sigma$, где γ - удельный вес материала несущих слоев и заполнителя.



Р и с. 2. Зависимость удельного веса оболочки со складчатым заполнителем \bar{G} от коэффициента напряженности ρ : $\kappa = 1$; $\bar{c} = 0,2$; $\alpha = 60^\circ$; $\lambda = 0,5$

На рис. 2 показана зависимость удельного веса оболочки от коэффициента напряженности для семи марок конструкционных материалов. На рис. 3 представлен типовой график зависимости оптимальных параметров оболочки \bar{H} и $\bar{\sigma}_\Sigma$ от коэффициента напряженности ρ для сплава BT20. Аналогичные зависимости получены и для других конструкционных материалов.



Р и с. 3. Зависимость оптимальных параметров оболочки со складчатым заполнителем \bar{H} и $\bar{\sigma}_\Sigma$ от коэффициента напряженности ρ : — \bar{H} , - - - $\bar{\sigma}_\Sigma$, материала BT20, $\lambda = 0,5$, $\alpha = 60^\circ$, $\kappa = 1$

На основании проведенных исследований оболочек со складчатым наполнителем можно сделать следующие практические выводы:

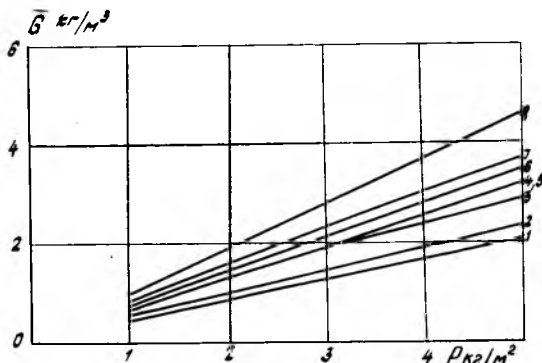
1. Выгодность конструкционных материалов по весу меняется с изменением коэффициента напряженности. При малой интенсивности нагружения выгодно применять алюминиевые сплавы, а в сильно нагруженных конструкциях более выгодны титановые сплавы.

2. Ширина контактной площадки \bar{c} складчатого наполнителя существенно влияет на вес конструкции. Для уменьшения веса оболочки всегда выгодно до минимума сужать контактную площадку \bar{c} . Пилообразный наполнитель ($\bar{c} = 0$) при любых коэффициентах напряженности по весу выгоднее складчатого.

3. Удлинение оболочки λ , соотношение толщины несущих слоев и наполнителя k и угол наклона пластин наполнителя α очень мало влияют на вес конструкции.

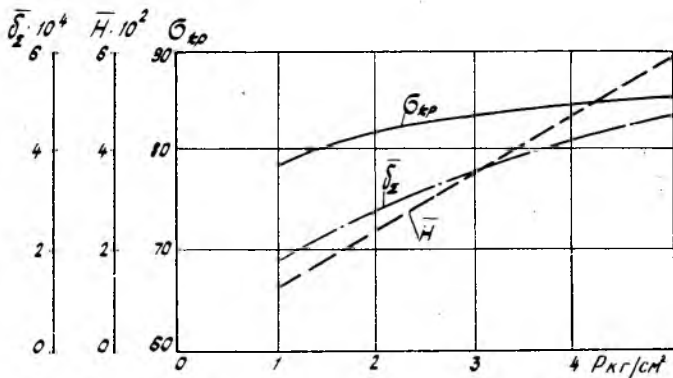
Пилообразный наполнитель. Исследование оболочек с пилообразным наполнителем велось по программе складчатого наполнителя с параметром $\bar{c} = 0,01$. На рис. 4 показана зависимость удельного веса оболочек \bar{g} от коэффициента напряженности для восьми марок

Р и с. 4. Зависимость удельного веса оболочки с пилообразным наполнителем \bar{g} от коэффициента напряженности ρ :
 1 - ВТ16, 2- ВТ20,
 3 - СН-4, 4- СН-2,
 5 - В95АТ1,
 6- ОТ4-1, 7-Д16,
 8- АМг6



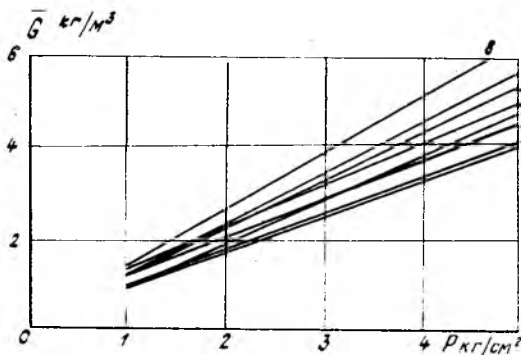
конструкционных материалов. Пример зависимости оптимальных параметров \bar{h} и $\bar{\sigma}_2$ и расчетных критических напряжений $\sigma_{кр}$ от коэффициента напряженности $\sigma_{кр}$ приведен на рис. 5.

Все выводы относительно выгодности конструкционных материалов и влияния параметров оболочки λ , k , α на ее вес, полученные для оболочек со складчатым наполнителем, полностью справедливы для пилообразного наполнителя.



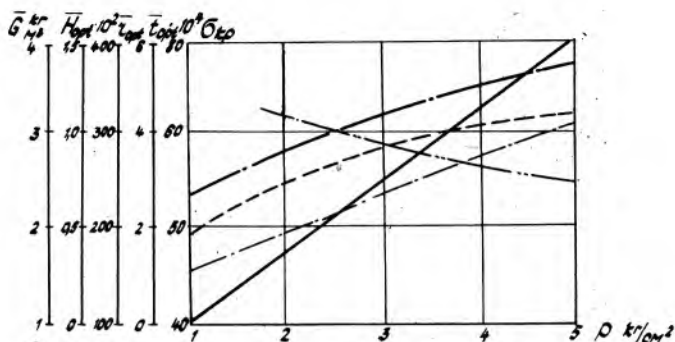
Р и с. 5. Зависимость оптимальных параметров \bar{H} и $\bar{\sigma}_2$ и расчетных критических напряжений $\sigma_{кр}$ от коэффициента напряженности ρ : материал ВТ20, $\alpha = 60^\circ$, $\kappa = 1$

Сотовый наполнитель. Метод отыскания оптимальных параметров оболочек с сотовым наполнителем изложен в работе [5]. На рис. 6 показана зависимость удельного веса оболочек с сотовым наполнителем \bar{G} от коэффициента напряженности для восьми марок конструк-



Р и с. 6. Зависимость удельного веса оболочек с сотовым наполнителем \bar{G} от коэффициента напряженности ρ : 1 - ВТ20, 2 - ВТ6с, 3 - Х15Н70М2(СН-4), 4 - В95АТ1, 5 - Х15Н9Ю(СН-2), 6 - ОТ4-1, 7 - АК4-1, 8 - Д16

ционных материалов. Здесь удельный вес оболочки также определялся по приведенной толщине, включающей суммарную толщину несущих слоев и эквивалентную по весу толщину наполнителя.



Р и с. 7. Зависимость оптимальных параметров оболочки с сотовым наполнителем \bar{H}_{opt} , \bar{z}_{opt} , \bar{t}_{opt} , а также уровня критических напряжений $\bar{\sigma}_{кр}$ от коэффициента напряженности ρ : материал BT20, — \bar{G} , — \bar{H}_{opt} , — \bar{z}_{opt} , — \bar{t}_{opt} , — $\bar{\sigma}_{кр}$

На рис. 7 представлен типовой график зависимости оптимальных параметров \bar{H}_{opt} , \bar{z}_{opt} , \bar{t}_{opt} от коэффициента напряженности ρ для материала BT20, где

$\bar{H}_{opt} = \frac{H}{R}$ — относительная толщина трехслойной оболочки (H — расстояние между осями несущих слоев);

$\bar{z}_{opt} = \frac{z}{\delta}$ — относительный радиус сотовой ячейки (z — радиус описанной окружности ячейки, δ — толщина стенки сотового наполнителя);

$\bar{t}_{opt} = \frac{t}{R}$ — относительная толщина одного несущего слоя; рассматриваются только симметричные оболочки с одинаковой толщиной несущих слоев.

На этих же графиках показана зависимость уровня критических напряжений оптимальной оболочки $\bar{\sigma}_{кр} = \bar{\sigma}_{кр}^{общ} = \bar{\sigma}_{кр}^m$ и условного удельного веса $\bar{G} = \frac{\bar{G}'}{R}$ (где \bar{G}' — вес единицы поверхности оболочки) от коэффициента напряженности ρ .

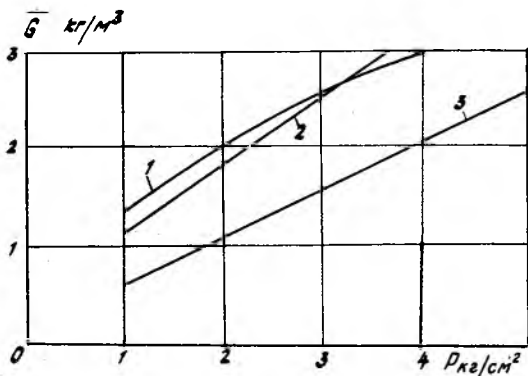
Для сотового наполнителя может использоваться любой пластичный материал из той же группы сплавов, поэтому модуль упругости E_3 и удельный вес γ_3 материала наполнителя принимались такими

же, как и у несущих слоев $E_3 = E_H$, $\gamma_3 = \gamma_H$.

Выгодность различных материалов для сотовых оболочек зависит от интенсивности нагружения. При малых ρ конструкции из алюминиевых сплавов легче конструкций из стали, но при больших ρ выгоднее по весу стальные конструкции.

Титановые сплавы обеспечивают наименьший вес сотовых оболочек во всем рассмотренном диапазоне коэффициентов напряженности.

Сравнительная весовая оценка различных типов заполнителей для материала ВТ20 представлена на рис. 8. Эти графики позволяют сделать вывод о том, что выгодность типа заполнителя также определяется интенсивностью нагружения.



Р и с. 8. Сравнительная весовая оценка оболочек с различными типами заполнителей: материал ВТ20, $\lambda = 0,5$, $\alpha = 60^\circ$, $\kappa = 1$, I — складчатый, $c = 0,2$, 2 — сотовый, 3 — пилообразный

При малых ρ сотовый заполнитель выгоднее складчатого с большой шириной контактной площадки \bar{c} . Пилообразный заполнитель при любых нагрузках, как правило, обеспечивает минимальный вес оптимальных трехслойных оболочек.

Таким образом, полученные в результате исследования графики, позволяют конструктору выбрать материал, тип заполнителя и оптимальные параметры трехслойных оболочек без выполнения большого объема вычислений.

Л и т е р а т у р а

1. Александров А.Я., Брюккер Л.Э., Куршин Л.М., Прусаков А.П. Расчет трехслойных панелей. М., Оборонгиз, 1960, с. 74.

2. Расчеты элементов авиационных конструкций.-
В сб. статей под ред. А.Я.А лександрова
и др., вып. 4, М., "Машиностроение", 1965, с. 59.
3. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник. т. 2.
М., "Машиностроение", 1968, с. 268-305.
4. В л а с о в Н.В. Оптимальные параметры трехслойных
конструкций с ребристыми заполнителями.
Материалы научно-технической конференции КуАИ,
Куйбышев, 1972.
5. К о р о л ь к о в О.Н., Е л а т о н ц е в а И.В.
Приближенный метод оптимизации конструкций с сотовым
заполнителем.-
В сб. "Проектирование оптимальных конструкций".
Труды КуАИ, вып. 54, 1971, с. 9.