

тона определялась как сумма энергий жестких и податливых слоев. За эталонный принят слой, относительно которого рассматривались упругие и прочностные характеристики соседних слоев.

При анализе напряженно-деформированного состояния плоских и гофрированных слоев прогибы определялись по формуле

$$w(x, y) = \sum_{\alpha=1}^{\infty} \sum_{\beta=1}^{\infty} Q_{\alpha\beta} \sin \frac{\alpha\pi x}{a} \sin \frac{\beta\pi y}{b} / \left[\left(\frac{\alpha^4}{a^4} D_{s(x)} + \frac{2\alpha^2\beta^2}{a^2b^2} H + \frac{\beta^4}{b^4} D_{s(y)} \right) + \left(\frac{\alpha^2}{a^2} G_{s(x)} + \frac{2\alpha\beta}{ab} C + \frac{\beta^2}{b^2} G_{s(y)} \right) \frac{c^2}{2f} F(\mu_{\alpha\beta}, n) \right].$$

Здесь $Q_{\alpha\beta} = \begin{cases} 16q_s / (\pi^6\alpha\beta) & \text{при нечетных } \alpha \text{ и } \beta, \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases}$

a, b — размеры панели; c — расстояние между срединными плоскостями двух смежных плоского и гофрированного слоев; $2f$ — толщина гофрированного слоя; D_s — суммарная (но не для монолита) жесткость пластины из n слоев; $D_s = \sum_{k=1}^n D_k$; $H = \sqrt{D_{s(x)} D_{s(y)}}$; G_s — модуль сдвига многослойного гофркартона; $C = \sqrt{G_{s(x)} G_{s(y)}}$; $F(\mu_{\alpha\beta}, n) = n - 1 - \left\{ 2 \left[\operatorname{ch} \mu_{\alpha\beta} - 1 + \operatorname{cth} [(n-1)\mu_{\alpha\beta}/2] \right] \operatorname{sh} \mu_{\alpha\beta} \right\}$.

Значение $\mu_{\alpha\beta}$ определяется из уравнения $\operatorname{ch} \mu_{\alpha\beta} = 1 + c^2 \kappa_{\alpha\beta}^2 / (2\chi)$, где χ — параметр, характеризующий соотношение между деформативностью жестких и податливых слоев; $\kappa_{\alpha\beta}^2 = (\alpha\pi/a)^2 + (\beta\pi/b)^2$.

В гофрированном слое форма волны описывалась уравнением

$$z = f \sin(\pi x / l).$$

Жесткость гофрированного слоя

$$D_{k(x)}^r = \frac{1}{L} \frac{E_0 h_r^3}{12(1-\nu^2)}, \quad D_{k(y)}^r = E_0 I,$$

плоского

$$D_k^n = \frac{E_0 h_n^3}{12(1-\nu^2)},$$

где длина дуги полуволны $L = l \left[1 + \pi^2 f^2 / (4l^2) \right]$; момент инерции $I = (f^2 h_r / 2) \times \left\{ 1 - 0,81 / \left[1 + 2,5 [f / (2l)]^2 \right] \right\}$; $E_0 = 3010$ МПа; $\nu = 0,51$; значения параметров l, f, h_r, h_n приведены на рис. 1. Модули сдвига $G_{s(x)} = 14$ МПа, $G_{s(y)} = 2,1$ МПа.

Табл. 1. Результаты испытаний панелей из многослойного гофркартона на кратковременную нагрузку

Показатель	Значение показателя
Контрольная нагрузка, кН/м^2 :	
по жесткости	4,32
по прочности	7,23
Фактическая разрушающая нагрузка, кН/м^2	7,57
Прогиб панели, мм, при контрольной нагрузке	
по жесткости:	
расчетный	6
фактический	5,2
Напряжения, МПа, в обшивках при контрольной нагрузке по прочности:	
σ_x^-	1,22 (1,4)
σ_y^-	0,37 (0,6)
σ_x^+	7,05
σ_y^+	10,23
Напряжения, МПа, в гофркартоне при действии сосредоточенной нагрузки (1,2 кН) в направлении, нормальном к плоскости панели	0,045 (0,17)
Отношение фактической разрушающей нагрузки к контрольной по прочности	1,05

Примечание. В скобках приведены временные сопротивления, полученные при одноосном сжатии малых лабораторных образцов [2].

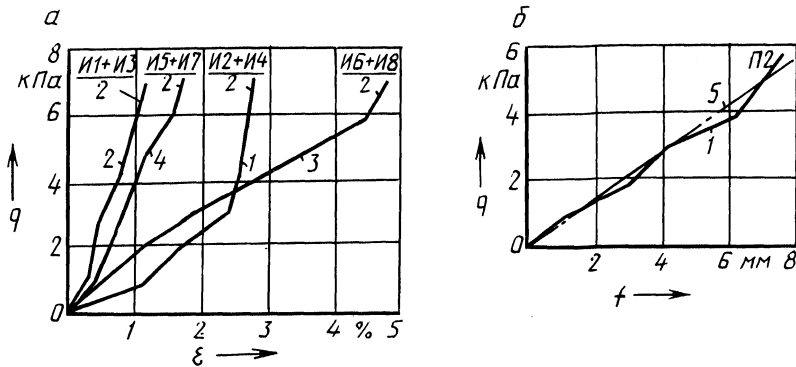


Рис. 2. Результаты испытания панелей:

а — относительные деформации верхней и нижней обшивок; б — прогиб в середине пролета; 1—4 — экспериментальные значения; 5 — расчетные

В результате статического расчета вычислены контрольные нагрузки по жесткости и прочности панели, подобраны степени ее нагружения, составляющие 0,2 от контрольной нагрузки по жесткости. Измерения выполнялись на каждом этапе нагружения. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Из графиков на рис. 2 видно, что деформации сжатых (растянутых) слоев поперек панели (кривые 1, 3) значительно превосходят аналогичные деформа-

ции вдоль панели (кривые 2, 4). Такая неравномерность деформаций, связанная с анизотропным строением гофркартона, является нежелательной. Устранить это явление можно, изготавливая многослойный гофркартон с ортогонально чередующимися направлениями гофр. Панели, изотропные в плоскости, более эффективны для работы в плоских и пространственных конструкциях.

Потеря несущей способности панелей происходит в результате потери устойчивости верхней плоской обшивки, что обуславливает отрыв ее от средних слоев, расслоение панели и окончательное ее разрушение в середине.

Таким образом, на основании проделанных экспериментов можно утверждать о возможности использования многослойного гофркартона в элементах зданий контейнерного типа, пространственных складчатых конструкциях, в навесных панелях стен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. — М., 1980. — 376 с. 2. Кириенко Э.М., Иванов В.А., Фомичев В.Ф. Определение прочностных и упругих свойств строительного гофркартона при кратковременных испытаниях // *Вопр. стр-ва и архитектуры*. — Мн., 1980. — Вып. 10. — С. 61—66.

УДК 69.059.7

А.Э.ОВЧИННИКОВ

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Развитие экономики страны определяет устойчивую тенденцию к значительному увеличению капиталовложений на реконструкцию и техническое перевооружение промышленности.

Реконструкция и техническое перевооружение промышленных предприятий, как правило, связаны с увеличением эксплуатационных нагрузок на конструкции зданий и сооружений, что вызывает необходимость их усиления. Среди применяемых строительных конструкций промышленных объектов значительное место занимают металлические. В этой связи разработка и внедрение эффективных способов усиления металлических конструкций имеет большое народнохозяйственное значение. Необходимо отметить, что усиление конструкций является одним из наиболее результативных способов продления их долговечности, восстановления или увеличения несущей способности, предотвращения аварий.

Необходимость усиления строительных конструкций обусловлена следующими основными причинами: модернизацией оборудования промышленных предприятий, связанной с увеличением нагрузок на конструкции; физическим износом конструкций в результате интенсивной или длительной их эксплуатации; поражением их коррозией; различными повреждениями конструкций в результате нарушения правил их эксплуатации; ошибками в проектировании, изготовлении элементов зданий и сооружений и в производстве строительномонтажных работ. Здесь отмечены причины, наиболее характерные для