

**ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
им. В.А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ ТРЕХСЛОЙНЫХ
ПАНЕЛЕЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ
ОБШИВКАМИ И ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
ИЗ ПЕНОПЛАСТА**

МОСКВА-1976

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
им. В.А. КУЧЕРЕНКО
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ ТРЕХСЛОЙНЫХ
ПАНЕЛЕЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ
ОБШИВКАМИ И ЗАПОЛНИТЕЛЕМ
ИЗ ПЕНОПЛАСТА

*Утверждены директором ЦНИИСК
им. Кучеренко
16 августа 1976 года*

МОСКВА-1976

УДК 691-419.5.04(083.96)

Рекомендации разработаны в лаборатории конструкций с применением пластмасс ЦНИИСК им. Кучеренко (исполнители - инж. С.Б.Ермолов и канд. техн. наук О.Б.Тюзнева, при участии инж. Л.В.Брагиной).

Табл. 7 ил. 3.

© ЦНИИ строительных конструкций им. В.А.Кучеренко, 1976

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на расчет по прочности и жесткости изгибаемых однопролетных и многопролетных (с равными пролетами) трехслойных панелей "сэндвич" с обшивками из профилированных металлических листов и заполнителем из пенопласта (панелей типа ПТ по ГОСТ 21562-76) при следующих ограничениях:

а - минимальная толщина панели - не менее 40 мм и не менее 1/2 максимальной толщины (по наружному габариту);

б - высота профиля листов обшивки - не менее 5 мм;

в - крепления к несущим конструкциям допускают свободные деформации панели в ее плоскости.

1.2. Рекомендации выпущены во изменение "Рекомендаций по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс" (М., 1969) в части расчета трехслойных панелей без ребер (типа 4) с профилированными металлическими обшивками, а также в части назначения температурных климатических воздействий для расчета трехслойных панелей.

1.3. Изгибаемые трехслойные панели рассчитываются на равномерно распределенные нагрузки и на температурные климатические воздействия. Нормативные (расчетные) нагрузки на панели следует принимать по главе СНиП "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования". Нормативные (расчетные) величины температурных климатических воздействий, а также сочетания временных нагрузок и температурных воздействий следует принимать по приложению 1.

1.4. Расчетные сопротивления и физические характеристики материалов обшивок (стали, алюминия) следует принимать по главам СНиП "Стальные конструкции. Нормы проектирования" и "Алюминиевые конструкции. Нормы проектирования". Расчетные сопротивления и физические характеристики материалов заполнителя (пенопластов) следует принимать по соответствующим нормативным документам либо на основании эксперимен-

тальных данных по согласованию с ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР.

1.5. Пример расчета трехслойной панели дан в приложении 2.

2. ОБОЗНАЧЕНИЯ

2.1. Геометрические характеристики конструкции (рис. 1):

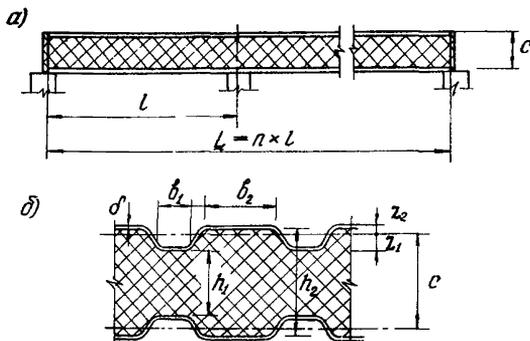


Рис. 1

Схема трех-
слойной па-
нели:

а - продоль-
ный разрез;

б - элемент
поперечного
сечения

l - расчетный пролет панели, см;

n - число пролетов панели;

$L = n \cdot l$ - расчетная длина панели (расстояние между крайними опорами), см;

c - расчетная высота сечения панели (расстояние между геометрическими осями обшивок), см;

δ - толщина листа обшивки, см;

b - ширина полки профиля обшивки, см;

z - расстояние от геометрической оси обшивки до оси полки профиля, см;

h - толщина слоя заполнителя, подкрепляющего полку профиля обшивки, см;

F - площадь сечения профиля обшивки на единицу ширины, см²/см;

J - момент инерции профиля обшивки на единицу ширины, см⁴/см.

Примечание. Площадь сечения и момент инерции профиля обшивки, а также положение ее геометрической оси определяются без учета отгибов (отбортовок) у продольных кромок панели.

2.2. Расчетные характеристики материалов:

- \bar{E} - модуль упругости материала обшивок, кг/см²;
 $\bar{\alpha}$ - коэффициент линейного расширения материала обшивок, 1/град;
 \bar{R} - расчетное сопротивление материала обшивок, кг/см²;
 E - модуль упругости материала заполнителя, кг/см²;
 G - модуль сдвига материала заполнителя, кг/см²;
 R - расчетное сопротивление материала заполнителя, кг/см²;

2.3. Характеристики жесткости конструкции:

- $\bar{D} = \bar{E} \cdot J$ - цилиндрическая жесткость обшивки, кг·см;
 D - цилиндрическая жесткость панели, кг·см;

при одинаковых по толщине и профилю обшивках -

$$D = \frac{\bar{E} \cdot F}{2} c^2 + 2 \bar{D} ;$$

при различных обшивках -

$$D = \frac{\bar{E} F_1 F_2}{F_1 + F_2} c^2 + \bar{D}_1 + D_2 ;$$

$$K = \frac{D}{G c L^2} \text{ - коэффициент сдвиговой податливости панели.}$$

2.4. Нагрузки и воздействия:

- q - равномерно распределенная нагрузка, кг/см² или кг/м² · 10⁴;
 ψ - перепад температур по толщине панели, град.С (определяется по указаниям приложения 1).

Примечание. Нормативные значения нагрузки и перепада температур обозначены нижним индексом "н" (q_n , ψ_n); расчетные значения записаны без индекса.

2.5. Усилия и деформации (рис. 2):

- R - опорная реакция (на единицу ширины панели), кг/см;
 Q - поперечная сила (на единицу ширины панели), кг/см;
 M - изгибающий момент в панели (на единицу ширины), кгсм/см;

\bar{M} - изгибающий момент в обшивке (на единицу ширины), кгсм/см;

$\bar{N} = \pm \frac{M}{C}$ - продольная сила в обшивке (на единицу ширины), кг/см;

f - прогиб панели, см.

Примечание. В расчетных формулах записаны усилия и прогибы только для левой половины длины панели (по рис. 2) ввиду симметрии статической схемы панели и распределения нагрузок (температур) по ее длине.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И ПРОГИБОВ ОТ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ (см. рис. 2)

3.1. Опорные реакции определяются по формулам:
для однопролетной панели -

$$R_A = 0,5 q l ; \quad (1)$$

для двухпролетной панели -

$$R_A = 0,5 \frac{0,0625 + \kappa}{0,0833 + \kappa} q l ; \quad (2)$$

$$R_B = \frac{0,1042 + \kappa}{0,0833 + \kappa} q l ; \quad (3)$$

для трехпролетной панели -

$$R_A = 0,5 \frac{0,0739 + \kappa}{0,0925 + \kappa} q l ; \quad (4)$$

$$R_B = \frac{0,1018 + \kappa}{0,0925 + \kappa} q l . \quad (5)$$

3.2. Поперечные силы (максимальные) определяются по формулам:

для однопролетной панели -

$$Q_A = 0,5 q l ; \quad (6)$$

для двухпролетной панели -

$$Q_A = 0,5 \frac{0,0625 + \kappa}{0,0833 + \kappa} q l ; \quad (7)$$

$$Q_{B1} = -0,5 \frac{0,1042 + \kappa}{0,0833 + \kappa} q l ; \quad (8)$$

для трехпролетной панели -

$$Q_A = 0,5 \frac{0,0739 + \kappa}{0,0925 + \kappa} q l ; \quad (9)$$

$$Q_{B1} = -0,5 \frac{0,1111 + \kappa}{0,0925 + \kappa} q l ; \quad (10)$$

$$Q_{B2} = 0,5 q l . \quad (11)$$

3.3. Изгибающие моменты в панели (максимальные) определяются по формулам:

для однопролетной панели -

$$M_1 = 0,125 q l^2 ; \quad (12)$$

для двухпролетной панели -

$$M_1 = 0,125 \left(\frac{0,0625 + \kappa}{0,0833 + \kappa} \right)^2 q l^2 ; \quad (13)$$

$$M_B = - \frac{0,0104}{0,0833 + \kappa} q l^2 ; \quad (14)$$

для трехпролетной панели -

$$M_1 = 0,125 \left(\frac{0,0739 + \kappa}{0,0925 + \kappa} \right)^2 q l^2 ; \quad (15)$$

$$M_B = - \frac{0,0093}{0,0925 + \kappa} q l^2 . \quad (16)$$

3.4. Изгибающие моменты в обшивках (максимальные) определяются по формулам:

для однопролетной панели -

$$\bar{M}_1 = (0,125 + \kappa) \frac{\bar{D}}{D} q l^2 ; \quad (17)$$

для двухпролетной и трехпролетной панели -

$$\bar{M}_B = -0,32 \sqrt{\frac{\bar{D}}{GC}} R_B , \quad (18)$$

где R_B - опорная реакция, определяемая по формуле (3.3) или (3.5).

3.5. Максимальный прогиб панели определяется по формулам:

для однопролетной панели -

$$f = 0,125 (0,1042 + \kappa) \frac{q_n l^4}{D}; \quad (19)$$

для двухпролетной панели -

$$f = 0,5 \frac{(0,1005 + \kappa)(0,0085 + \kappa)}{0,0833 + \kappa} \frac{q_n l^4}{D}; \quad (20)$$

для трехпролетной панели -

$$f = 1,125 \frac{(0,0980 + \kappa)(0,0054 + \kappa)}{0,0925 + \kappa} \frac{q_n l^4}{D}. \quad (21)$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И ПРОГИБОВ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР (см.рис.2)

4.1. Опорные реакции определяются по формулам:

для двухпролетной панели -

$$R_A = - \frac{0,125}{0,0833 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi; \quad (22)$$

$$R_B = \frac{0,250}{0,0833 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi; \quad (23)$$

для трехпролетной панели -

$$R_A = - \frac{0,111}{0,0925 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi; \quad (24)$$

$$R_B = - \frac{0,111}{0,0925 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi. \quad (25)$$

4.2. Поперечные силы определяются по формулам:

для двухпролетной панели -

$$Q_A = Q_{B1} = - \frac{0,125}{0,0833 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi; \quad (26)$$

для трехпролетной панели -

$$Q_A = Q_{B1} = - \frac{0,111}{0,0925 + \kappa} \frac{D \bar{\alpha}}{c l} \psi. \quad (27)$$

4.3. Изгибающие моменты в панели (максимальные) определяются по формулам:
для двухпролетной панели -

$$M_B = - \frac{0,125}{0,0833 + \kappa} \frac{D\bar{\alpha}}{c} \psi; \quad (28)$$

для трехпролетной панели -

$$M_B = - \frac{0,111}{0,0925 + \kappa} \frac{D\bar{\alpha}}{c} \psi. \quad (29)$$

4.4. Изгибающие моменты в обшивках (максимальные) определяются по формулам:
для однопролетной панели -

$$\bar{M}_1 = \frac{\bar{D}\bar{\alpha}}{c} \psi; \quad (30)$$

для двухпролетной и трехпролетной панели - по формуле (18); при этом опорная реакция R_B определяется по формуле (23) или (25).

4.5. Максимальный прогиб панели определяется по формулам:

для однопролетной панели -

$$f = 0,125 \frac{l^2 \bar{\alpha}}{c} \psi_n; \quad (31)$$

для двухпролетной панели -

$$f = 0,125 \frac{0,0208 + \kappa}{0,0833 + \kappa} \frac{l^2 \bar{\alpha}}{c} \psi_n; \quad (32)$$

для трехпролетной панели -

$$f = 0,125 \frac{0,0361 + \kappa}{0,0925 + \kappa} \frac{l^2 \bar{\alpha}}{c} \psi_n. \quad (33)$$

5. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ПАНЕЛЕЙ

5.1. Прочность и жесткость панелей следует проверять по максимальным значениям усилий (прогибов), соответствующим невыгоднейшему сочетанию нагрузок и температур.

5.2. Прочность заполнителя при сдвиге проверяется по формуле

$$\frac{Q}{c} \leq R_{сдв} \quad , \quad (34)$$

где $R_{сдв}$ - расчетное сопротивление материала заполнителя сдвигу.

5.3. Прочность (устойчивость) профилированных обшивок проверяется по формулам:

для растянутых полок профиля -

$$\left| \frac{\bar{N}}{F} \pm \frac{\bar{M}}{J} z \right| \leq R ; \quad (35)$$

для сжатых полок профиля

$$\left| \frac{\bar{N}}{F} \pm \frac{\bar{M}}{J} z \right| \leq \bar{\sigma}_k , \quad (36)$$

где R - расчетное сопротивление материала обшивки;
 $\bar{\sigma}_k$ - критическое напряжение местной устойчивости, определяемое по п.5.4.

5.4. Критическое напряжение местной устойчивости плоских полок профиля обшивки, подкрепленной пенопластом, определяется по формуле

$$\bar{\sigma}_k = \psi \cdot \bar{E} \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 , \quad (37)$$

где ψ - коэффициент, принимаемый по графику рис.3 в зависимости от параметров $\frac{b}{\delta} \sqrt{\frac{E}{E}}$.

При этом для стальной обшивки значение $\bar{\sigma}_k$ следует принимать не более R ; для алюминиевой обшивки при $\bar{\sigma}_k > 0,7 R$ следует вводить поправочный коэффициент, учитывающий отклонение диаграммы "напряжение-деформация" материала обшивки от закона Гука (в соответствии с указаниями главы СНиП "Алюминиевые конструкции. Нормы проектирования").

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Температурно-климатические воздействия, учитываемые при расчете трехслойных панелей

1. При расчете трехслойных панелей наружных ограждений (стен, покрытий) используются следующие и нормативные (расчетные) величины, характеризующие температурно-климатические воздействия на ограждения:

- t^b - температура внутреннего воздуха, град.С, в теплое (t^{bT}) и в холодное (t^{bx}) время года;
- t - температура наружного воздуха, град.С, в теплое (t^T) и в холодное (t^x) время года;
- T_2 - превышение температуры наружной поверхности ограждения над температурой наружного воздуха в теплое время года, град.С.

2. Нормативные и расчетные значения температуры внутреннего воздуха t^{bT} и t^{bx} для помещений производственных зданий следует принимать по табл. 1.

Таблица 1

Характеристика помещений	Температура, град.С	
	$t_n^{bT} = t^{bT}$	$t_n^{bx} = t^{bx}$
Без избыточных тепловыделений	+20	+18
С избыточными тепловыделениями	+20	+24

3. Нормативные и расчетные значения температуры наружного воздуха $t_n^T (t^T)$ и $t_n^x (t^x)$ следует определять по указаниям главы СНиП "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".

α_n - коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности ограждения, принимаемый равным: для наружных стен - $5,2$ ккал/м² ч·град·С, для покрытий - $7,5$ ккал/м² ч·град·С.

4. Нормативное и расчетное значение температуры T_2 определяется по формуле

$$T_{2н} = T_2 = 0,5 A_{\text{VII}} + \frac{\rho \cdot \Delta J}{\alpha_n},$$

- где A_{VII} - средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, град.С, принимаемая по главе СНиП "Строительная климатология и геофизика";
- ΔJ - разность максимального и среднесуточного количества солнечной радиации (прямой и рассеянной), падающей на поверхность ограждения, ккал/м²час, принимаемая по табл. 2;
- α_n - коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью ограждения, принимаемый по табл. 3;
- ρ - коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности ограждения;

Примечание. Допускается принимать A_{VII} равным 14°С для районов с умеренным влажным климатом и равным 18°С - для районов с сухим климатом.

Таблица 2

Положение поверхностей ограждения	ΔJ , ккал/м ² ·ч
Вертикальные (стены)	430
Горизонтальные (покрытия), на географической широте 40°	625
То же, 45°	580
"- 50°	530
"- 55°	480

Таблица 3

Материал поверхности	Цвет покрытия	ρ
Сталь, алюминий с пленочным, лакокрасочным или анодным покрытием	Белый, светлосерый	0,3
	Темно-серый	0,5
	Зеленый, красный, коричневый	0,7
Сталь оцинкованная Без покрытия	-	0,7
Алюминий без покрытия	-	0,5

5. Значения перепада температуры по сечению панели $\psi_n^T (\psi^T)$ и $\psi_n^X (\psi^X)$ определяются по формулам табл. 4; при этом для вычисления нормативных (расчетных) значений используются соответственно нормативные (расчетные) значения температур, определяемые по п. 2.4.

Таблица 4

Типы зданий	Перепад температур ψ , град.С	
	для теплого времени года ψ^T	для холодного времени года ψ^X
Неотапливаемые	$\psi^T = -T_2$	$\psi^X = 0$
Отапливаемые	$\psi^T = t^{6T} - t^T - T_2$ (но не менее $\psi^T = -T_2$)	$\psi^X = t^{6X} - t^X$

6. Сочетания временных нагрузок и температурных климатических воздействий для расчета изгибаемых трехслойных панелей типа "сэндвич" следует принимать по табл. 5.

Таблица 5

Время года, типы зданий	Сочетание временных нагрузок и температурных климатических воздействий
1. Теплое	<p>а. Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температуры ψ_T при температуре T_2, определяемой без учета солнечной радиации.</p> <p>б. Ветровая нагрузка $q_f = 0$; перепад температуры ψ_T при температуре T_2, определяемой с учетом солнечной радиации.</p>
2. Холодное, отапливаемые	<p>а. Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температур ψ^x с коэффициентом сочетания 0,7.</p> <p>б. Ветровая нагрузка по СНиП с коэффициентом сочетания 0,4; перепад температур ψ^x.</p> <p>в. Снеговая и ветровая нагрузки по СНиП с коэффициентами сочетания 0,9; перепад температур ψ^x при $t^x = 0^\circ\text{C}$ (только для панелей покрытий).</p>
3. Холодное, неотапливаемые	<p>а. Ветровая нагрузка по СНиП, перепад температур $\psi^x = 0$ (для панелей наружных стен)</p> <p>б. Снеговая и ветровая нагрузки по СНиП с коэффициентами сочетания 0,9, перепад температур $\psi^x = 0$ (для панелей покрытий)</p>

Пример расчета трехслойной панели

Пусть необходимо проверить прочность и жесткость трехслойной стеновой панели, предназначенной для отапливаемого производственного здания, высотой до 20 м, возводимого в Московской области. Панель — двухпролетная, длина панели $L = 720$ см, пролет (расстояние между ригелями стенового каркаса) $l = 360$ см. Толщина панели (по наружному габариту) — 7 см. Обшивки панели выполнены из профилированного алюминия, сплав АМГ-2П; наполнитель — из пенопласта, вспененного в полости панели.

1. Геометрические параметры сечения панели и расчетные характеристики материалов обшивок и наполнителя, расчетная высота сечения $S = 6,304$, толщина листов обшивок $\delta = 1$ мм, ширина полок профиля обшивок: внутренней $b_1 = 2$ см, наружной — 5 см; расстояния от геометрической оси обшивки до полки профиля: внутренней $x_1 = 0,652$ см, наружной $x_2 = 0,348$ см.

Толщина слоя наполнителя, подкрепляющего полки профиля обшивок, внутреннюю — $h_1 = 4,98$ м, наружную — $h_2 = 6,98$ см.

Площадь сечения обшивки $F = 0,1066$ см²/см. Момент инерции профиля обшивки $J = 0,01579$ см⁴/см, модуль упругости материала обшивок $E = 7,1 \cdot 10^5$ кг/см², расчетное сопротивление $R = 1500$ кг/см², коэффициент линейного расширения $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ (по главе СНиП П-24-74. Алюминиевые конструкции. Нормы проектирования);

расчетные модули упругости материала наполнителя: $E_{кр} = 150$ кг/см²;

расчетные модули сдвига: $G_{кр} = 40$ кг/см²;

расчетное сопротивление сдвигу: $R_{сг} = 0,25$ кг/см².

2. Характеристики жесткости конструкции (по формулам п.2.3) цилиндрическая жесткость обшивки $D = 7,1 \cdot 10^5 \cdot 0,01579 = 11,218 \cdot 10^3$ кгсм = $0,0112 \cdot 10^6$ кгсм;

цилиндрическая жесткость панели $D = \frac{7,1 \cdot 10^9 \cdot 0,1066}{2}$
 $6,304^2 + 2,0,0112 \cdot 10^6 = 1,512 \cdot 10^6$ кгсм;

коэффициент сдвиговой податливости

$$K = \frac{1,512 \cdot 10^6}{40,6,304 \cdot 51,84 \cdot 10^4} = 0,0116 .$$

3. Исходные параметры нагрузок и температурно-климатических воздействий: нормативный скоростной напор ветра $q_0 = 27$ кг/м² (для 1 ветрового района, по главе СНиП П-6-74. "Нагрузки и воздействия"); температура внутреннего воздуха в теплое время года - $t^{6T} = +20$, в холодное - $t^{6X} = +18^\circ\text{C}$ (по табл. 1 приложения 1);

многолетние среднемесячные температуры:

июля - $t_{\text{VII}} = +20^\circ\text{C}$ (по картам 5 и 6 СНиП П-6-74),

января - $t_{\text{I}} = -10^\circ\text{C}$.

Отклонение средней температуры наиболее холодных суток от среднемесячной январской $A_1 = 20^\circ$ (СНиП П-6-74); средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле $10,4^\circ\text{C}$ (СНиП "Строительная климатология и геофизика"), разность максимального и среднесуточного количества солнечной радиации $\Delta J = 430$ ккал/м²ч (табл. 2), коэффициент поглощения поверхности обшивки $\rho = 0,5$ (по табл. 3); коэффициент теплоотдачи (для наружной стены)

$$\alpha_n = 5 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} \cdot \text{C}.$$

4. Нормативные и расчетные значения ветровой нагрузки (с округлением до целых кг/м²);

при напоре $q_n = 27,0,9,0,8 = 19$ кг/м²;

$$q_y = 27,0,9,0,8,1,2 = 23 \text{ кг/м}^2;$$

при отсосе $q_n = 27,0,9,0,6 = 15$ кг/м²;

$$q_y = 27,0,9,0,6,1,2 = 18 \text{ кг/м}^2.$$

5. Нормативные и расчетные значения температур (по СНиП П-24-74) с округлением до целых градусов:

$$t_n^T = 20+6=+26^\circ\text{C}; \quad t^T = +26+3=+29^\circ\text{C};$$

$$t_n^X = -10-20=-30^\circ\text{C}; \quad t^X = -30-6=-36^\circ\text{C};$$

$$T_2 = 0,5 \cdot 10,4 + \frac{0,5 \cdot 430}{5} = 5 + 43 = 48^\circ\text{C}.$$

Нормативные и расчетные значения температурного перепада (по формулам табл. 4)

$$\text{при } q_n = 19 \text{ кг/м}^2 \quad \psi_n^T = +20 - (26+6) = -12^\circ\text{C};$$

$$\psi^T = +20 - (29+6) = -15^\circ\text{C};$$

$$\text{при } q_n = 0 \quad \psi_n^T = +20 - (26+6) = -12^\circ\text{C};$$

$$\psi^T = +20 - (29+6) = -15^\circ\text{C};$$

$$\psi_n^X = +18 - (-30) = +48^\circ\text{C};$$

$$\psi^X = +18 - (-36) = +54^\circ\text{C}.$$

6. Для расчета панели принимаем сочетания ветровой нагрузки и температурного перепада по табл. 5; соответствующие значения нагрузки и температурного перепада приведены в табл. 1.

7. Определяем усилия и прогибы панели от ветровой нагрузки (по формулам раздела 3)

Опорные реакции -

$$R_A = 0,5 \frac{0,0825+0,0116}{0,0833+0,0116} 360 q = 141,1q ;$$

$$R_B = \frac{0,1042+0,0116}{0,0833+0,0116} 360 q = 440 q ;$$

Таблица 6

№№ сочетаний по таблице 5	Нормативные значения	Расчетные значения
1,а	$q_{\text{н}} = 19 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q_{\text{н}} = 15 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta_{\text{н}}^{\text{T}} = -12^{\circ}\text{C}$	$q = 23 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q = 18 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta^{\text{T}} = -15^{\circ}\text{C}$
1,б	$q_{\text{н}} = 0$ $\vartheta_{\text{н}}^{\text{T}} = -54^{\circ}\text{C}$	$q = 0$ $\vartheta^{\text{T}} = -57^{\circ}\text{C}$
2,а	$q_{\text{н}} = 19 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q_{\text{н}} = 15 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta_{\text{н}}^{\text{x}} = +48^{\circ}\text{C}, 0,7 =$ $= +34^{\circ}\text{C}$	$q = 23 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q = 18 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta^{\text{x}} = +54^{\circ}\text{C}, 0,7 =$ $= +38^{\circ}\text{C}$
2,б	$q_{\text{н}} = 19,0,4=8 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q_{\text{н}} = 15,0,4=6 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta_{\text{н}}^{\text{x}} = +48^{\circ}\text{C}$	$q = 23,0,4=9 \text{ кг/м}^2$ (напор) $q = 18,0,4=7 \text{ кг/м}^2$ (отсос) $\vartheta^{\text{x}} = +54^{\circ}\text{C}$

поперечные силы -

$$Q_A = R_A = 141,1 q ;$$
$$Q_B = -0,5 R_B = -220 q .$$

Изгибающие моменты в панели -

$$M_1 = 0,125 \left(\frac{0,0625+0,0116}{0,0833+0,0116} \right)^2 \cdot 360^2 q = 0,99 \cdot 10^4 q ;$$

$$M = - \frac{0,0104}{0,0833+0,0116} 360^2 q = -1,42 \cdot 10^4 q ;$$

продольные силы в обшивках (по формулам п. 2.5)

$$\bar{N}_1 = \mp \frac{0,99 \cdot 10^4}{6,304} = \mp 1,57 \cdot 10^3 q ,$$

$$\bar{N}_B = \mp \frac{1,42 \cdot 10^4}{6,304} = \mp 2,25 \cdot 10^3 q .$$

Изгибающие моменты в обшивках -

$$\bar{M}_B = -0,32 \frac{11,218 \cdot 10^3}{90,6,304} \cdot 440 q = -940 q .$$

Прогибы -

$$f = 0,5 \frac{(0,1005+0,0116)(0,0085+0,0116)}{0,0833+0,0116} \cdot \frac{360^4 q_H}{1,512 \cdot 10^6} =$$
$$= 132 q_H .$$

8. Определяем усилия и прогибы панелей от температурного перепада (по формулам раздела 4)

$$R_A = - \frac{0,125}{0,0833+0,0116} \cdot \frac{1,512 \cdot 10^6 \cdot 23,10^{-6}}{6,304 \cdot 360} \psi = -0,0203 \psi ;$$

$$R_B = -2 R_A = +0,0406 \psi ;$$

$$Q_A = Q_B = R_A = -0,0203 \psi ;$$

$$M_B = R_A \cdot 360 = -0,0203 \cdot 360 = -7,3 \psi ;$$

$$\bar{N}_B = \mp \frac{7,3}{6,304} = \mp 1,16 \psi ;$$

$$M_B = -0,32 \frac{11,218 \cdot 10^3}{40,6,304} \cdot 0,0406 \psi = -0,0864 \psi ;$$

$$f = 0,125 \frac{0,0208+0,0116}{0,0833+0,0116} \cdot \frac{360^2 \cdot 23 \cdot 10^{-6}}{6,304} \psi_n = 0,0201 \psi_n ;$$

9. Вычисляем значения суммарных усилий и прогибов от ветровой нагрузки и температурного перепада для сочетаний, приведенных в табл. 6. Соответствующие значения приведены в табл. 7 (значения ветровой нагрузки пересчитаны в кг/см²).

В табл. 7 приведены также значения $\frac{\bar{M}}{F}$ и $\frac{\bar{M}}{J} z$, необходимые для проверки прочности (устойчивости) обшивки.

10. По табл. 7 находим максимальные абсолютные значения суммарных усилий и прогибов панели, а также максимальных напряжений в обшивках (по формулам п. 5.3).

Опорные реакции на крайней опоре $R_A = 1,194$ кг/см (сочетание 2 δ - отсос)

$$R_B = 2,594 \text{ кг/см (сочетание 2 δ - напор),}$$

поперечная сила $Q_A = 1,194$ кг/см (сочетание 2 δ - отсос),

$$Q_B = 1,295 \text{ кг/см (сочетание 2б - напор),}$$

напряжения во внутренней полке профиля обшивки,

$$\sigma^b = 605 + 227 = 832 \text{ кг/см}^2 \text{ (сочетание 2δ - напор),}$$

то же в наружной полке профиля,

$$\sigma^H = 620 + 108 = 728 \text{ кг/см}^2 \text{ (сочетание 1б),}$$

Прогиб $f = 1,07$ см (сочетание 2б - напор).

11. Проверяем прочность и жесткость панели по указаниям раздела 5.

Максимальные сдвигающие напряжения в заполнителе

$$\frac{Q}{C} = \frac{1,295}{6,304} = 0,205 \text{ кг/см}^2 < R_{сгб} = 0,25 \text{ кг/см}^2 .$$

Максимальное напряжение в растянутой полке профиля обшивки

$$\sigma = 832 \text{ кг/см}^2 < R = 1500 \text{ кг/см}^2.$$

Для внутренней полки профиля

$$\frac{b_1}{\delta} \sqrt[3]{\frac{E'}{E}} = \frac{2,0}{0,1} \sqrt[3]{\frac{150}{7,1 \cdot 10^5}} = 1,19;$$

$$\psi = 3,5 \text{ (по графику рис. 3).}$$

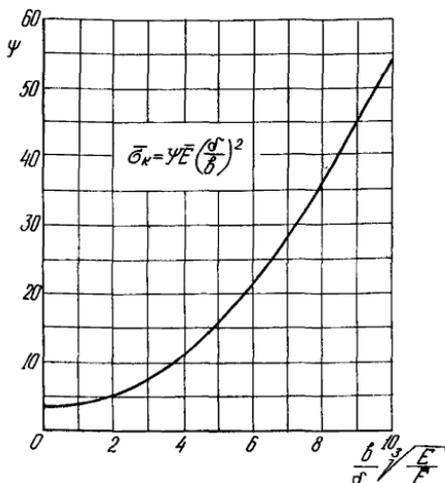


Рис. 3

График к расчету устойчивости профилированных обшивок трехслойных панелей

Для наружной полки профиля

$$\frac{b_1}{\delta} \sqrt[3]{\frac{E'}{E}} = \frac{5}{0,1} \sqrt[3]{\frac{150}{7,1 \cdot 10^5}} = 2,98,$$

$$\psi = 6,5$$

(по графику рис. 3).

Величина критических напряжений для внутренней полки профиля

$$\begin{aligned} \sigma_{кр} &= \psi \bar{E} \left(\frac{\delta}{l}\right)^2 = 3,5 \cdot 7,1 \cdot 10^5 \left(\frac{0,1}{2}\right)^2 = \\ &= 6200 \text{ кг/см}^2 > \bar{R}; \end{aligned}$$

принимаем $\sigma_{кр} = 0,8 \bar{R} = 1200 \text{ кг/см}^2$.

Величина критических напряжений для наружной полки профиля

$$\begin{aligned}\sigma_{кр} &= \psi \bar{E} \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 = 6,5,7,1 \cdot 10^5 \left(\frac{0,1}{5} \right)^2 = \\ &= 1840 \text{ кг/см}^2 > \bar{R};\end{aligned}$$

принимаем $\sigma_{кр} = 0,8 \bar{R} = 1200 \text{ кг/см}^2$.

Сжимающие напряжения, действующие в наружной и внутренней полках профиля, меньше, чем $\sigma_{кр}$ сжатых участков профиля.

Максимальный относительный прогиб панели

$$\frac{f}{l} = \frac{1,071}{360} = \frac{1}{336} < \frac{1}{125} \text{ (СНиП Ц-24-74)}.$$

Таким образом, прочность и жесткость панели обеспечены.

12. Ригели стенового каркаса рассчитываются на поперечный изгиб из плоскости стены; при этом нагрузки от панелей, передаваемые на ригели, равны соответствующим опорным реакциям панелей.

Пусть требуется подобрать сечение ригеля из стали 3 при пролете $l_p = 6 \text{ м}$. Максимальная нагрузка на ригель

$$q_p = R_{\text{в}} = 2,594 \text{ кг/см}.$$

Требуемый момент сопротивления сечения (из условия прочности)

$$W_{\text{тр}} = \frac{q_p l_p^2}{8R} = \frac{2,594 \cdot 600^2}{8 \cdot 2100} = 55,5 \text{ см}^3.$$

Требуемый момент инерции сечения (из условия жесткости, при предельном прогибе $\frac{f}{300}$ пролета, или $f = 2,0 \text{ см}$).

$$J_{\text{тр}} = \frac{5}{384} \frac{q_p l_p^4}{E f} = \frac{5 \cdot 2,594 \cdot 600^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2} = 1040 \text{ см}^4.$$

Принимаем по ГОСТ 8240-56 швеллер № 20 ($J = 1520 \text{ см}^4$, $W = 152 \text{ см}^3$).

Усилия и прогибы	1 а		1 б	2 а		2 б	
	напор	отсос		напор	отсос	напор	отсос
1	2	3	4	5	6	7	8
R_A кг/см	0,325+0,304= =0,629	-0,256+0,304= =0,048	1,16	0,325-0,77 = =-0,445	-0,256-0,77= =-1,026	0,127-1,095 =-0,968	-0,099-1,095= =-1,194
R_B кг/см	1,02-0,610 = =+0,410	-0,793-0,610= =-1,403	-2,3	1,02+1,54= =-2,56	-0,793+1,54= =+0,747	0,394+2,2= = 2,594	-0,308+2,2 = =1,892
Q_A кг/см	0,325+0,304= =0,629	-0,256+0,309= =0,048	1,16	0,325-0,77= =-0,445	-0,256-0,77= =-1,026	0,127-1,095= =-0,968	-0,099-1,095= =-1,194
Q_B кг/см	-0,51+0,304= =-0,206	+0,396+0,304= =0,700	1,16	-0,51-0,77= =-1,28	+0,396-0,77= =-0,374	-0,2-1,095= =-1,295	0,154-1,095= =-0,941
$\pm \bar{N}_B$ кг/см	-5,16+17,4= =12,24	+4,05+17,4= = 21,45	66	-5,16-44= =-49,16	+4,05-44= =-39,95	-2,03-62,5= =-64,53	1,57-62,5= =-60,93
\bar{M}_B кгсм/см	-2,17+1,29 = =-0,88	1,73+1,29 = = 3,02	4,9	-2,17-3,28= =-5,46	1,73-3,28= =-1,55	-0,845-4,65= =-5,495	0,655-4,65= =-3,995
$\frac{\bar{N}_B}{F}$ кг/см ²	115	205	620	462	374	605	570
$\frac{\bar{M}_B}{J} z_1$	36,4	125	202	225	47,6	227	165
$\frac{\bar{M}_B}{J} z_2$	19,4	66,5	108	120	34,2	121	88
f см	0,252-0,24= =0,012	-0,198-0,240= =-0,438	-1,08	0,252+0,685= =0,937	-0,198+0,685= =0,487	0,106+0,965= =1,071	-0,079+0,965= =0,886

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения.....	3
2. Обозначения.....	4
3. Определение усилий и прогибов от равномерно распределенной нагрузки.....	7
4. Определение усилий и прогибов от изменения температур.....	9
5. Проверка прочности и жесткости панелей.....	10
Приложение 1. Температурно-климатические воздействия, учитываемые при расчете трехслойных панелей....	12
Приложение 2. Пример расчета трехслойной панели.....	16

Ордена Трудового Красного Знамени
ЦНИИ строительных конструкций
им. В.А.Кучеренко

Рекомендации по расчету трехслойных панелей
с металлическими обшивками и заполнителем из
пенопласта

Л-99717 Подп. к печ. 24.XП-76 г. Заказ № 115
Формат 80x90 1/16 Объем 1,2 п.л. Тираж 500 экз.
Цена 12 коп.

Производственно-экспериментальные мастерские
ЦИНИС Госстроя СССР