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

gost.e-ecolog.ru

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):

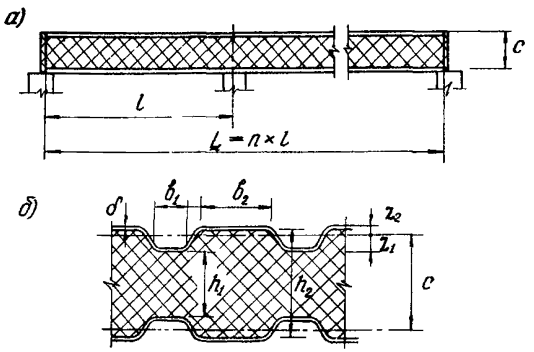

Рис. 1

Схема трехслойной панели:
а – продольный разрез;
б – элемент поперечного сечения

ℓ – расчетный пролет панели, см;

n – число пролетов панели;

$L = n \cdot \ell$ – 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, $см^2/см$;

J – момент инерции профиля обшивки на единицу ширины, $см^4/см$.

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/см^2;

α – коэффициент линейного расширения материала обшивок, 1/град;

$\bar{R}$ – расчетное сопротивление материала обшивок, кг/см^2;

E – модуль упругости материала заполнителя, кг/см^2;

G – модуль сдвига материала заполнителя, кг/см^2;

R – расчетное сопротивление материала заполнителя, кг/см^2;

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 –

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

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

2.4. Нагрузки и воздействия:

q – равномерно распределенная нагрузка, кг/см^2 или кг/м^2.10^{-4};

ϑ – перепад температур по толщине панели, град.С (определяется по указаниям приложения 1).

Примечание. Нормативные значения нагрузки и перепада температур обозначены нижним индексом "н" ($q_н$, $\vartheta_н$); 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;

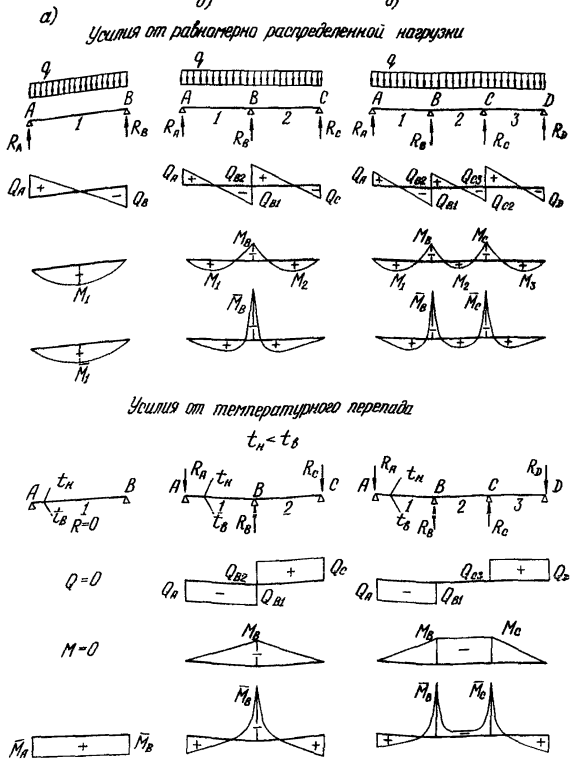

Рис. 2. Усилия в трехслойной изгибаемой панели: а – однопролетной, б – двухпролетной, в – трехпролетной

$\bar{M}$ – 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 –

$$R_A = 0{,}5\, q\ell \quad ; \qquad (1)$$

для двухпролетной панели –

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

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

для трехпролетной панели –

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

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

3.2. Поперечные силы (максимальные) определяются по формулам:

для однопролетной панели –

$$Q_A = 0{,}5\, q\ell ; \qquad (6)$$

для двухпролетной панели –

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

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

для трехпролетной панели –

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

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

$$Q_{B2} = 0{,}5\,q\ell\,. \qquad (11)$$

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

для однопролетной панели –

$$M_1 = 0{,}125\,q\ell^2\,; \qquad (12)$$

для двухпролетной панели –

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

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

для трехпролетной панели –

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

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

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

для однопролетной панели –

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

для двухпролетной и трехпролетной панели –

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

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

3.5. Максимальный прогиб панели определяется по формулам:

для однопролетной панели –

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

для двухпролетной панели –

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

для трехпролетной панели –

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

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

4.1. Опорные реакции определяются по формулам:

для двухпролетной панели –

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

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

для трехпролетной панели –

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

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

4.2. Поперечные силы определяются по формулам:

для двухпролетной панели –

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

для трехпролетной панели –

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

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

для двухпролетной панели –

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

для трехпролетной панели –

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

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

для однопролетной панели –

$$\bar{M}_1 = \frac{\bar{D}\bar{\alpha}}{c}\,\vartheta; \qquad (30)$$

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 –

$$f = 0{,}125\,\frac{\ell^2\bar{\alpha}}{c}\,\vartheta_н; \qquad (31)$$

для двухпролетной панели –

$$f = 0{,}125\,\frac{0{,}0208+\kappa}{0{,}0833+\kappa}\,\frac{\ell^2\bar{\alpha}}{c}\,\vartheta_н; \qquad (32)$$

для трехпролетной панели –

$$f = 0{,}125\,\frac{0{,}0361+\kappa}{0{,}0925+\kappa}\,\frac{\ell^2\bar{\alpha}}{c}\,\vartheta_н. \qquad (33)$$

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

$$\frac{Q}{c} \leq R_{cgb} , \qquad (34)$$

где R_{cgb} – расчетное сопротивление материала заполнителя сдвигу.

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

для растянутых полок профиля –

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

для сжатых полок профиля

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

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

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

$$\sigma_к = \varphi \cdot \bar{E} \left(\frac{\delta}{b} \right)^2 , \qquad (37)$$

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

При этом для стальной обшивки значение $\bar{\sigma}_к$ следует принимать не более R ; для алюминиевой обшивки при $\bar{\sigma}_к$ 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 нормативные (расчетные) величины, характеризующие температурно-климатические воздействия на ограждение:

$t^{в}$ - температура внутреннего воздуха, град.С, в теплое ($t^{вт}$) и в холодное ($t^{вх}$) время года;

t - температура наружного воздуха, град.С, в теплое ($t^{т}$) и в холодное ($t^{х}$) 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 $t^{вт}$ и $t^{вх}$ для помещений производственных зданий следует принимать по табл. 1.

Таблица 1

Характеристика помещений	Температура, град.С	
	$t^{вт}_{н} = t^{вт}$	$t^{вх}_{н} = t^{вх}$
Без избыточных тепловыделений	+20	+18
С избыточными тепловыделениями	+20	+24

3. Нормативные и расчетные значения температуры наружного воздуха $t^{т}_{н}$ ($t^{т}$) и $t^{х}_{н}$ ($t^{х}$) следует определять по указаниям главы СНиП "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".

$\alpha_{н}$ - коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности ограждения, принимаемый равным: для наружных стен - 5,2 ккал/м^2 ч·град·С, для покрытий - 7,5 ккал/м^2 ч.град С.

4. Нормативное и расчетное значение температуры T_2 определяется по формуле

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

где $A_{\overline{VII}}$ – 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/м^{2}час, принимаемая по табл. 2;

$\alpha_н$ – коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью ограждения, принимаемый по табл. 3;

ρ – коэффициент теплоотдачи у наружной поверхности ограждения;

Примечание. Допускается принимать $A_{\overline{VII}}$ 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 $\vartheta_н^т$ ($\vartheta^т$) и $\vartheta_н^х$ ($\vartheta^х$) 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 ϑ, град.С	
	для теплого времени года $\vartheta^т$	для холодного времени года $\vartheta^х$
Неотапливаемые	$\vartheta^т = -T_2$	$\vartheta^х = 0$
Отапливаемые	$\vartheta^т = t^{бт} - t^т - T_2$ (но не менее $\vartheta^т = -T_2$)	$\vartheta^х = t^{бх} - t^х$

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	а. Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температуры $\vartheta^т$ при температуре T_2, определяемой без учета солнечной радиации. б. Ветровая нагрузка $q = 0$; перепад температуры $\vartheta^т$ при температуре T_2, определяемой с учетом солнечной радиации.
2. Холодное, отапливаемые	а. Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температур $\vartheta^х$ с коэффициентом сочетания 0,7. б. Ветровая нагрузка по СНиП с коэффициентом сочетания 0,4; перепад температур $\vartheta^х$. в. Снеговая и ветровая нагрузки по СНиП с коэффициентами сочетания 0,9; перепад температур $\vartheta^х$ при $t^х = 0^\circ C$ (только для панелей покрытий).
3. Холодное, неотапливаемые	а. Ветровая нагрузка по СНиП, перепад температур $\vartheta^х = 0$ (для панелей наружных стен) б. Снеговая и ветровая нагрузки по СНиП с коэффициентами сочетания 0,9, перепад температур $\vartheta^х = 0$ (для панелей покрытий)

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; заполнитель – из пенопласта, вспененного в полости панели.

1. Геометрические параметры сечения панели и расчетные характеристики материалов обшивок и заполнителя, расчетная высота сечения C = 6,304, толщина листов обшивок δ = 1 мм, ширина полок профиля обшивок: внутренней b_1 = 2 см, наружной – 5 см; расстояния от геометрической оси обшивки до полок профиля: внутренней z_1 = 0,652 см, наружной z_2 = 0,348 см.

Толщина слоя заполнителя, подкрепляющего полки профиля обшивок, внутреннюю – h_1 = 4,98 м, наружную – h_2 = 6,98 см.

Площадь сечения обшивки F = 0,1066 $см^2/см$. Момент инерции профиля обшивки J = 0,01579 $см^4/см$, модуль упругости материала обшивок $E = 7{,}1 \cdot 10^5$ кг/см^2, расчетное сопротивление R = 1500 кг/см^2, коэффициент линейного расширения $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ $град^{-1}$ (по главе СНиП П-24-74. Алюминиевые конструкции. Нормы проектирования");

расчетные модули упругости материала заполнителя: $E_{кр}$ = 150 кг/см^2;

расчетные модули сдвига: $G_{кр}$ = 40 кг/см^2;

расчетное сопротивление сдвигу: $R_{сд}$ = 0,25 кг/см^2.

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 $D = \frac{7,1.10^5.0,1066}{2}$ $6,304^2 + 2.0,0112.10^6 = 1,512.10^6$ кгсм;

коэффициент сдвиговой податливости

$$K = \frac{1,512.10^6}{40.6,304.51,84.10^4} = 0,0116.$$

3. Исходные параметры нагрузок и температурно-климатических воздействий: нормативный скоростной напор ветра $q_o = 27$ кг/м^2 (для 1 ветрового района, по главе СНиП П-6-74. "Нагрузки и воздействия"); температура внутреннего воздуха в теплое время года - $t^{вт} = +20$, в холодное - $t^{вх} = +18^\circ$С (по табл. 1 приложения 1);

многолетние среднемесячные температуры:

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

января - $t_{\overline{I}} = -10^\circ$С.

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 $10,4^\circ$С (СНиП "Строительная климатология и геофизика"), разность максимального и среднесуточного количества солнечной радиации $\Delta J = 430$ ккал/м^{2}ч (табл. 2), коэффициент поглощения поверхности обшивки $\rho = 0,5$ (по табл. 3); коэффициент теплоотдачи (для наружной стены)

$$\alpha_н = 5 \text{ ккал/м}^2\text{.ч.град.С}.$$

4. Нормативные и расчетные значения ветровой нагрузки (с округлением до целых кг/м^2):

при напоре $q_н = 27.0,9.0,8 = 19$ кг/м^2;

$q = 27.0,9.0,8.1,2 = 23$ кг/м^2;

при отсосе $q_н = 27.0,9.0,6 = 15$ кг/м^2;

$q = 27.0,9.0,6.1,2 = 18$ кг/м^2.

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

$$t_н^т = 20+6=+26^\circ C; \qquad t^т = +26+3=+29^\circ C;$$

$$t_н^х = -10-20=-30^\circ C; \qquad t^х = -30-6=-36^\circ C;$$

$$T_2 = 0,5.10,4+\frac{0,5,430}{5} = 5 + 43 = 48^\circ C .$$

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

при $q_н = 19$ кг/м^2 $\quad \vartheta_н^т = +20-(26+46)=-12^\circ C;$

$\vartheta^т = +20-(29+6) = -15^\circ C;$

при $q_н = 0$ $\quad \vartheta_н^т = +20-(26+48) = -54^\circ C;$

$\vartheta^т = +20-(29+48) = -57^\circ C;$

$$\vartheta_н^х = +18-(-30^\circ) = +48^\circ C;$$

$$\vartheta^х = +18-(-36^\circ) = +54^\circ C.$$

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 –

$$R_A = 0,5\,\frac{0,0625+0,0116}{0,0833+0,0116}\,360\,q = 141,1q ;$$

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

Таблица 6

№№ сочетаний по таблице 5	Нормативные значения	Расчетные значения
1,а	$q_н$ =19 кг/м^2 (напор) $q_н$ =15 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^т_н$ = –12°С	q = 23 кг/м^2 (напор) q = 18 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^т$ = –15°С
1,б	$q_н$ = 0 $\vartheta^т_н$ = –54°С	q = 0 $\vartheta^т$ = –57°С
2,а	$q_н$ =19 кг/м^2 (напор) $q_н$ =15 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^х_н$ =+48°С.0,7 = =+34°С	q = 23 кг/м^2 (напор) q = 18 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^х$ = +54°С.0,7= =+38°С
2,б	$q_н$ =19.0,4=8 кг/м^2 (напор) $q_н$ = 15.0,4=6 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^х_н$ = +48°С	q =23.0,4=9 кг/м^2 (напор) q =18.0,4=7 кг/м^2 (отсос) $\vartheta^х$ = +54°С

поперечные силы –

$$Q_A = R_A = 141{,}1\, q\ ;$$

$$Q_B = -0{,}5\ R_B = -220\, q\ .$$

Изгибающие моменты в панели –

$$M_1 = 0{,}125\ \left(\frac{0{,}0625+0{,}0116}{0{,}0833+0{,}0116}\right)^2 .360^2\, q = 0{,}99.10^4\, q\ ;$$

$$M = -\frac{0{,}0104}{0{,}0833+0{,}0116}\ 360^2\, q = -1{,}42.10^4\, q\ ;$$

продольные силы в обшивках (по формулам п. 2.5)

$$\bar{N}_1 = \mp \frac{0{,}99\ .\ 10^4}{6{,}304} = \mp\ 1{,}57.10^3\, q\ ,$$

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

Изгибающие моменты в обшивках –

$$\bar{M}_B = -0{,}32\ \frac{11{,}218\ .\ 10^3}{90.6{,}304}\ .\ 440\, q = -\ 940\ q\ .$$

Прогибы –

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

$$= 132\ q_н\ .$$

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

$$R_A = -\ \frac{0{,}125}{0{,}0833+0{,}0116}\ .\ \frac{1{,}512.10^6.23.10^{-6}}{6{,}304.360}\ \vartheta = -0{,}0203\ \vartheta\ ;$$

$$R_B = -2\ R_A = +0{,}0406\ \vartheta\ ;$$

$$Q_A = Q_B = R_A = -0{,}0203\ \vartheta\ ;$$

$$M_B = R_A\ .360 = -0{,}0203.360\vartheta = -7{,}3\ \vartheta\ ;$$

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

$$M_в = -0{,}32 \frac{11{,}218 \cdot 10^3}{40.6{,}304} \cdot 0{,}0406\,\vartheta = -0{,}0864\,\vartheta\ ;$$

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

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/см^2).

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

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)

$R_в$ = 2,594 кг/см (сочетание 2 δ – напор),

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

$Q_в$ = 1,295 кг/см (сочетание 2б – напор),

напряжения во внутренней полке профиля обшивки,

$\sigma^в$ = 605+227=832 кг/см^2 (сочетание 2δ – напор),

то же в наружной полке профиля,

$\sigma^н$ = 620+108 = 728 кг/см^2 (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

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

Максимальное напряжение в растянутой полке профиля обшивки

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

Для внутренней полки профиля

$$\frac{b_1}{\delta}\sqrt[3]{\frac{E}{\bar{E}}} = \frac{2,0}{0,1}\sqrt[3]{\frac{150}{7,1\cdot10^5}} = 1,19 ;$$

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

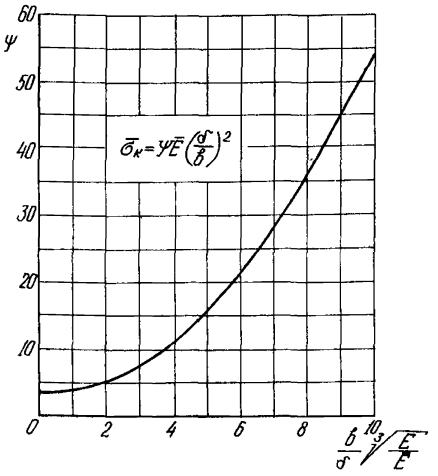

Рис. 3

График к расчету устойчивости профилированных обшивок трехслойных панелей

Для наружной полки профиля

$$\frac{b_1}{\delta}\sqrt[3]{\frac{E}{\bar{E}}} = \frac{5}{0,1}\sqrt[3]{\frac{150}{7,1.10^5}} = 2,98 ,$$

$$\varphi = 6,5$$

(по графику рис. 3).

Величина критических напряжений для внутренней полки профиля

$$\sigma_{кр} = \varphi\bar{E}\left(\frac{\delta}{\ell}\right)^2 = 3,5.7,1.10^5\left(\frac{0,1}{2}\right)^2 =$$

$$= 6200 \text{ кг/см}^2 > \bar{R} ;$$

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

Величина критических напряжений для наружной полки профиля

$$\sigma_{кр} = \varphi \bar{E} \left(\frac{\delta}{b}\right)^2 = 6{,}5{,}7{,}1.10^5 \left(\frac{0{,}1}{5}\right)^2 =$$

$$= 1840 \text{ кг/см}^2 > \bar{R};$$

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

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

Максимальный относительный прогиб панели

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

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 $\ell_р = 6$ м. Максимальная нагрузка на ригель

$$q_р = R_в = 2{,}594 \text{ кг/см.}$$

Требуемый момент сопротивления сечения (из условия прочности)

$$W_{тр} = \frac{q_р \ell_р^2}{8R} = \frac{2{,}594.600^2}{8.2100} = 55{,}5 \text{ см}^3.$$

Требуемый момент инерции сечения (из условия жесткости, при предельном прогибе $\frac{1}{300}$ пролета, или $f = 2{,}0$ см).

$$J_{тр} = \frac{5}{384} \frac{q_р \ell_р^4}{\bar{E} f} = \frac{5.2{,}594.600^4}{384.2{,}1.10^6.2} = 1040 \text{ см}^4.$$

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

Таблица 7

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= =-5,45	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 60x90 1/16 Объем 1,2 п.л. Тираж 500 экз.
Цена 12 коп.

gost.e-ecolog.ru

Производственно-экспериментальные мастерские
ЦИНИС Госстроя СССР