

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

БРЕСТСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра строительных конструкций

РАСЧЕТ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Методические указания для дипломного проектирования
по курсу "Конструкции из дерева и пластмасс" для
студентов специальности 29.03 "Промышленное и гражданское строительство" дневной и заочной форм обучения

Утверждено на ученом
совете факультета

" 28 " февраля 1989 г.

Протокол № 4

Брест 1989

Настоящие методические указания составлены в соответствии с действующими нормативными документами по проектированию и расчету легких ограждающих конструкций.

Приводятся примеры расчета ограждающих конструкций покрытий индустриального изготовления под мягкие рулонные кровли. Рассмотрены ребристые панели покрытия двух типов: с несущими ребрами из фанерных швеллеров и с использованием цементностружечных плит.

Методические указания содержат пример расчета слоистой панели покрытия на осяеве профилированной фанеры и фенольного пенопласта.

Достаточно подробно рассмотрен пример расчета стенового ограждения, выполненного из трехслойных панелей типа "сэндвич" с металлическими обшивками и заполнителем из пенопласта.

Для выполнения расчета панелей стенового ограждения разработана программа "PANEL" на языке ПЛ-1, применительно к ЭС ЭЕМ, приведена инструкция к расчету панелей на ЭЕМ.

Методические указания включают раздел "Приложения" в которых приведены необходимые для расчета рассматриваемых конструкций прочностные и упругие характеристики материалов, графики зависимости, поперечные сечения и геометрические характеристики фанерных профилей.

Методические указания составили:

Раздел 1 и 2 - Черноивая В.Н., доцент, кандидат технических наук;

Раздел 1 - Жук В.В., доцент, кандидат технических наук;

Раздел 3 - Найчук А.Я., старший научный сотрудник, кандидат технических наук, (ЦНИИПромзданий), Левчук А.С., инженер (ЦНИИПромзданий).

Общее редактирование выполнено В.Н.Черноиваном и В.В.Жуком.

Рецензенты:

Главный инженер "Брестсельстройпроект"

И.Б.Макаренко

Доцент кафедры инженерных конструкций МАРХИ, к.т.н.,

Г.П.Макаров.



Брестский инженерно-строительный институт 1989.

I. КАРКАСНЫЕ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЙ (общие положения)

I.1. Рекомендуемые размеры плит с применением клееной древесины: ширина - 1,5 м; высота поперечного сечения 1/32 пролета; длина до 6 м при опирании на несущие конструкции. Цельноплитные клееные конструкции из цементно-стружечных плит имеют ширину 0,9 м и длину до 3,6 м.

I.2. Плиты покрытий с применением клееной древесины рекомендуются в качестве ограждающих конструкций отапливаемых зданий сельского, промышленного и гражданского назначения с относительной влажностью воздуха помещений до 75%. Цельноплитные клееные конструкции из цементно-стружечных плит могут применяться в помещениях с относительной влажностью воздуха до 95%.

I.3. Плиты покрытий, как правило, предназначаются для зданий и сооружений с наружным отводом воды.

I.4. В каркасных плитах покрытий должна быть обеспечена сквозная естественная вентиляция внутренних полостей наружным воздухом. Вентиляция может осуществляться поперек или вдоль плит.

I.5. Длина площадки плит на несущие конструкции определяется расчетом, однако в любом случае фактическая длина опирания должна быть не менее 55 мм.

I.6. Крепление плит покрытий к несущим конструкциям рекомендуется устраивать сверху.

Пример 1. Плита покрытия длиной 6 м с ребрами из гнуклееных фанерных профилей и фанерными обшивками.

Исходные данные: размеры плиты в плане 1,5х6 м.

Обшивки: верхняя - фанера клееная березовая марки ФСФ толщина - 10 мм; нижняя - фанера клееная березовая марки ФСФ сорта В/ВВ толщиной - 6 мм. Ребра - гнуклееные фанерные профили по ГОСТ 22242-76.

Утеплитель - минераловатные плиты толщиной 10 см на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-72 к) с объемным весом $\rho = 1,0 \text{ кН/м}^3$. Воздушная прослойка над утеплителем - вентилируемая вдоль пролета. Кровля - рулонная. Уклон кровли - 14° . Здание отапливаемое, относительная влажность воздуха 65%. Район строительства - Витебская область.

Конструктивное решение и статический расчет.

Каркас плиты состоит из четырех продольных ребер, выполненных из гнутоклееных фанерных швеллеров № 19 (рис. 1). Для обеспечения устойчивости стенки фанерных профилей на опорах в швеллеры вклеены деревянные вкладыши из древесины сосны на длину 10 см. Исходя из размеров швеллера и сортамента пиломатериала сечение вкладыша принято: 175x75 мм. Высота поперечного сечения плиты $H = 20,6$ см, что составляет $26,6 / 594 = 1/29$ пролета. Расчетный пролет плиты $l = 594$ см.

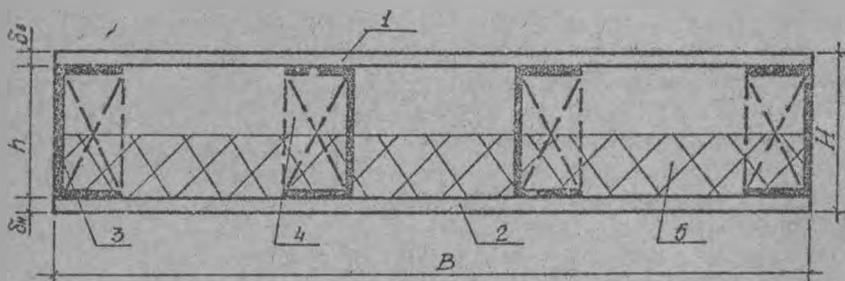


Рис. 1. 1 и 2 - обшивки; 3 фанерный швеллер; 4 - опорные вкладыши; 5 - утеплитель.

Сбор нагрузок:

собственная масса плиты:

фанерные обшивки - $(0,010 + 0,006) \times 7000 \times 1,5 = 168$ (Н/м);

опорные вкладыши - $4 \times (0,175 \times 0,075 \times 0,1) \times 500 = 6,56$ (Н/м);

продольные ребра каркаса - $4 \times 20,2 = 80,8$ (Н/м).

Итого: $g_c^{II} = 255,4$ (Н/м).

Плотность древесины и фанеры взяты согласно приложению 3 и табл. I [1].

Рубероидная кровля (трехслойная) - $90 \times 1,5 = 135$ (Н/м).

Утеплитель - $0,1 \times 1,5 \times 1000 = 150$ (Н/м).

Снеговая нагрузка:

нормативная $P_H = 1000 \times 1,5 = 1500$ (Н/м).

Так как $(255,4 + 135 + 150) / 1500 = 0,36 < 0,8$, то $\gamma_f = 1,6$ (п. 5.7. [2]).

Для удобства расчета выполним сбор нагрузок на плиту в табличной форме.

Таблица I.

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, Н/м	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, Н/м
Собственная масса плиты (без утеплителя)	255,4	1,1	281
Рубероидная кровля	135	1,3	175,5
Утеплитель МВЛ	150	1,2	180
Итого:	$g^н = 540,4$		$g^р = 636,5$
Снеговая нагрузка	1500	1,6	2400
Полная:	$g^н = 2040,4$		$g^р = 3036,5$

Расчетные характеристики материалов

Для материала обшивок (фанера клееная березовая марки 50Б сорта В/ВВ) расчетные сопротивления и модули упругости приведены в таблицах I0 и II [1]. Для многослойного фанерного швеллера:

расчетное сопротивление сжатию $R_o^{шв.} = 1,15 \text{ кН/см}^2$;
 расчетное сопротивление растяжению $R_p^{шв.} = 1,4 \text{ кН/см}^2$;
 расчетное сопротивление срезу $R_{cp}^{шв.} = 0,35 \text{ кН/см}^2$;
 модуль упругости $E^{шв.} = 1100 \text{ кН/см}^2$.

Геометрические характеристики сечения

Расчет клееных элементов, состоящих из материалов с различными модулями упругости выполняется по методу приведенного поперечного сечения.

Расчетная ширина фанерных обшивок принимается согласно п.4.25 [1]. Для нашего случая $b_{расч.} = 0,9 \times b$ т.к. $l > 6 \times a$ ($594 \text{ см} > 6 \times 42 \text{ см}$); b расч. = $0,9 \times 150 = 135 \text{ см}$.

Геометрические характеристики поперечного сечения плиты определяются с учетом коэффициентов приведения по материалу. Приведение осуществляем к наиболее напряженному материалу - клефанерным швеллерам.

Коэффициент приведения $n = E_{cp} / E^{нш} = 900 / 1100 = 0,82$.

Приведенная площадь поперечного сечения плиты равна:

$$F_{np} = \delta_1 \cdot b_{раск.} \cdot n + \delta_2 \cdot b_{раск.} \cdot n + 4F^{нш} = \\ = 1 \times 135 \times 0,82 + 0,6 \times 135 \times 0,82 + 4 \times [7 \times 1 + 2 \times (7 \times 1)] = 301,12 \text{ см}^2.$$

Для определения приведенных моментов инерции и моментов сопротивления находим центр тяжести приведенного сечения конструкции. Расстояние от нижней грани плиты до центра тяжести приведенного сечения определяется по выражению:

$$y_0 = \delta_{np} / F_{np} = [66,42 \times 0,3 + 110,7 \times (20,6 - 0,5) + (7 \times 1 \times 1,1 + 17 \times \\ \times 1 \times 10,1 + 7 \times 1 \times 19,5 \times 4)] / 301,12 = 11,65 \text{ см.}$$

Расстояние от верхней грани плиты $H - y_0 = 20,6 - 11,65 = 8,95 \text{ см.}$

Приведенный момент инерции поперечного сечения плиты равен:

$$J_p = 110,7 \times 8,45^2 + 66,42 \times 11,35^2 + 4 \times 1 \times 19^3 / 12 = 18746,6 \text{ см}^3.$$

Проверка плиты на прочность.

Расчетный изгибающий момент:

$$M = q^p \cdot l^2 / 8 = 3,0365 \times 5,9^2 / 8 = 13,2 \text{ (кНм)}.$$

Перерезывающая сила:

$$Q = q^p \cdot l / 2 = 3,0365 \times 5,9 / 2 = 8,96 \text{ (кН)}.$$

Напряжения в растянутой обшивке плиты:

$$\sigma = M \cdot y_0 / J_p = 1320 \times 11,65 / 18746,6 = 0,82 \text{ кН/см}^2 < \\ < 1,4 \times 1 \times 0,6 = 0,84 \text{ кН/см}^2.$$

0,6 - взят согласно п. 4.24 [1].

Устойчивость сжатой обшивки плиты проверяется согласно п.4.26 [1] по формуле:

$$\sigma = M / e_{cp} \cdot W_{np}^b \leq R_0 \cdot m_b$$

При расстоянии между смежными гранями полог швеллеров в свету $a = 38 \text{ см}$ и толщине фанеры 1 см

$$a / \delta_c = 38 / 1 = 38 < 50, \text{ тогда}$$

$$\gamma_{np} = 1 - (a'/\sigma_c)^2 / 5000 = 1 - 1444/5000 = 0,712$$

$$\sigma = 1320 / (18746,6 / 8,95) \times 0,712 = 0,88 \text{ (кН/см}^2\text{)} < 1,2 \text{ x I} = 1,2 \text{ кН/см}^2;$$

Проверка на срез стенки в зоне перегиба швеллера осуществляется по формуле:

$$\tau = Q \cdot S_{np}^b / J_{np} \cdot z \cdot \sigma_{суб} \leq R_{ср. шв.}$$

Приведенный статический момент верхней обшивки отсеченной части сечения плиты относительно нейтральной оси равен:

$$S_{np}^b = F_{np}^b (y - \delta^b/2) = 110,7 \times (8,95 - 0,5) = 935,4 \text{ см}^3;$$

$$\tau = 8,96 \times 935,4 / 18746,6 \times 4 \times \text{I} = 0,11 \text{ кН/см}^2 \leq 0,7 \times 0,35 = 0,24 \text{ кН/см}^2;$$

где 0,7 - коэффициент, учитывающий снижения расчетного сопротивления фанерного швеллера на срез в зоне перехода стенки и полки.

Проверка на срез по нейтральной оси:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}}{J_{np} \cdot z \cdot \sigma_{суб}} \leq R_{ср. шв.}$$

$$S_{np} = F_{np}^b (y - \delta^b/2) + 4 \cdot F_{пол. шв.} (y - \delta^b - \delta_{пол. шв.}/2) + 4 \cdot \delta_{шв.} \cdot (y - \delta^b - \delta_{шв. пол.}/2) =$$

$$= 110,7 \times (8,95 - 0,5) + 4 \times 7 \times 1 \times (8,95 - 1,0 - 0,5) + 4 \times 1 \times (8,95 - 1 - 1) \times (8,95 - 1 - 1 / 2) = 1240,6 \text{ см}^3,$$

$$\tau = 8,96 \times 1240,6 / 18746,6 \times 4 \times \text{I} = 0,148 \text{ кН/см}^2 < 0,35 \text{ кН/см}^2.$$

Прогиб плиты определяем с учетом п. 4.34 [1] по формуле:

$$f = (5 \times g^H \times e_p^4) / (384 \times 0,7 \times E \times J_{np}) = (5 \times 0,204 \times 590^4) / (384 \times 11000 \times 18746,6 \times 0,7) = 2,11 \text{ см.}$$

$$f/e = 2,11 / 520 = 1 / 279 < 1/250 \quad \text{т.16 [1]}$$

Пример 2. Запроектировать утепленную клееную плиту покрытия. Исходные данные: номинальные размеры плиты (рис.2) в плане 0,9 x 3 м; верхняя обшивка толщиной 14 мм из ЦСП-I по ГОСТ 29316-86; коробчатый элемент типа "Фолдинг" из ЦСП-I толщиной 16 мм с угловыми соединениями на кле УП-5-233-ЦСП.

Соединение верхней обшивки с элементом типа "Фолдинг" осуществляется на кле марки ФРБ-50 с запрессовкой шурупами А 4x40, установленных с шагом 200 мм. Плотность ЦСП - $\rho = 125 \text{ кН/м}^3$.

Утеплитель - минераловатные прошивные маты марки 100 по ГОСТ 21880-76 толщиной 80 мм; $\rho = 1 \text{ кН/м}^3$. Пароизоляция - полиэтиленовая пленка толщиной 0,2мм. Кровля рулонная - три слоя рубероида на битумной мастике. Район строительства - г. Могилев.

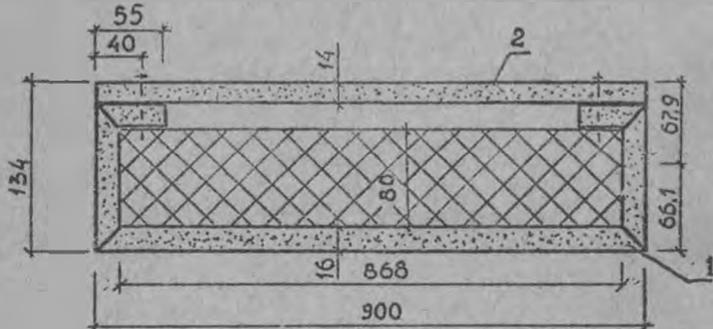


Рис. 2. Поперечное сечение плиты покрытия
1 - коробчатый элемент типа "Фолдинг"; 2 - обшивка

Статический расчет.

Сбор нагрузок:

собственная масса плиты:

верхняя обшивка - $0,014 \times 12,5 \times 0,9 = 0,1575 \text{ кН/м}$;

элемент типа "Фолдинг" - $0,016 \times 12,5 \times 1,25 = 0,25 \text{ кН/м}$;

Итого: $g_c^H = 0,4075 \text{ кН/м}$.

Рубероидная кровля - $0,1 \times 0,9 = 0,09 \text{ кН/м}$;

Утеплитель - $0,08 \times 1 \times 0,868 = 0,06944 \text{ кН/м}$.

Снеговая нагрузка:

нормативная $R_{12} = 1,0 \times 0,9 = 0,90$ кН/м;

расчетная $P = R_N \cdot \gamma_{fcm} = 0,90 \times 1,6 = 1,44$ кН/м;

т.к. $\gamma_{fcm} = 1,6$ при $q^N / R_N = 0,567 / 0,90 = 0,63 < 0,8$

(п. 5.7) [2]

Нагрузки на плиту приведены в таблице.

Таблица 2.

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Кoeffициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка кН/м
Собственный вес плиты (без утеплителя)	0,4075	1,1	0,44825
Рубероидная кровля	0,09	1,3	0,117
Утеплитель	0,06944	1,2	0,083328
Итого: $q^N = 0,567$			$q^P = 0,649$
Снеговая нагрузка	$1,0 \times 0,9 = 0,90$	1,6	1,44
Полная: $q^N = 1,467$			$q^P = 2,089$

Определяем усилия, действующие в сечении плиты:

Изгибающий момент:

$$M = q \cdot l_p^2 / 8 = 2,089 \times 2,94^2 / 8 = 2,257 \text{ кНм.}$$

Перерезывающая сила:

$$Q = q \cdot l_p / 2 = 2,089 \times 2,94 / 2 = 3,07 \text{ кН,}$$

г. л. $l_p = 300 - 6 = 294$ см.

6 см - ширина площадки опирания плиты на несущую конструкцию

п. 6.7. [1]

Расчеты производим исходя из монолитности сечения.

Согласно п. 4.16 [5] расчетную ширину плиты принимаем равной:

$$b_p = 0,9 \times b = 0,9 \times 90 = 81 \text{ см.}$$

Координаты нейтральной оси.

$$y_0 = (81 \times 1,6 \times 0,8 + 81 \times 1,4 \times 12,7 + 2 \times 3,9 \times 1,6 \times 11,2 + 2 \times 1,6 \times 10,4 \times 6,8) / (81 \times 1,6 + 81 \times 1,4 + 2 \times 3,9 \times 1,6 + 2 \times 1,6 \times 10,4) = 6,61 \text{ см.}$$

$$y_1 = h - y_0 = 13,4 - 6,61 = 6,79 \text{ см.}$$

Момент инерции

$$J = (81 \times 1,6^3) / 12 + 81 \times 1,6 \times (6,61 - 0,8)^2 + (81 \times 1,4^3) / 12 + 81 \times 1,4 \times (6,79 - 0,7)^2 + 2 \times [(3,9 + 1,6^3) / 12 + 3,9 \times 1,6 \times (6,79 - 1,4 - 0,8)^2] + 2 \times [(1,6 \times 10,4^3) / 12 + 1,6 \times 10,4 \times (6,61 - 6,8)^2] = 9193,49 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления поперечного сечения.

$$W = J / y_0 = 9193,49 / 6,78 = 1354 \text{ см}^3.$$

Вычисляем нормальные напряжения и сравниваем их с расчетным сопротивлением

$$\sigma = M / W = 2,257 \times 10^2 / 1354 = 0,167 \text{ кН/см}^2 = 16,7 \text{ МПа} < R_u = 3,75 \text{ МПа}.$$

Проверяем на срез ребра в зоне их примыкания к нижней обшивке плиты.

Статический момент нижней обшивки относительно нейтральной оси равен:

$$S = 81 \times 1,6 \times (6,61 - 0,8) = 752,98 \text{ см}^3 \\ \tau = 2 \cdot S / J \cdot b = 3,07 \times 752,98 / 52 \times 2 \times 1,6 = 0,0786 \text{ кН/см}^2 = 0,785 \text{ МПа} < 1,0 \text{ МПа} = R_{ср}$$

Проверяем верхнюю обшивку на местный изгиб сосредоточенной силой 1,2 кН как заделанную по концам балку шириной 100 см.

$$M = 1,2 \times 0,868 / 8 = 0,1302 \text{ кНм},$$

где 0,868 м - расстояние между полками элемента "Фолдинг".

Момент сопротивления обшивки шириной $b = 100$ см

$$W = 100 \times 1,4^2 / 6 = 32,67 \text{ см}^3.$$

Напряжение от изгиба сосредоточенной силой по формуле:

$$\sigma_u = M / W \leq R_u \cdot m_n$$

где m_n - коэффициент, учитывающий кратковременное действие монтажной нагрузки.

$$\sigma = 0,1302 \times 10^2 / 32,67 = 0,399 \text{ кН/см}^2 = 3,99 \text{ МПа} < 3,75 \times 1,2 \text{ МПа} = 4,5 \text{ МПа}.$$

Относительный прогиб плиты равен:

$$[f/l] = (5 \times q \times \epsilon^3) / (384 \times 0,7 \times E \times I) = (5 \times 1,467 \times 10^{-2} \times 294^3) / (384 \times 0,7 \times 2500 \times 10^{-1} \times 9193,49) = 1 / 331 < 1 / 250$$

где 0,7 - коэффициент, учитывающий прирост прогиба плиты в процессе эксплуатации.

II. ТРЕХСЛОЙНЫЕ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРОФИЛИРОВАННОЙ ФАНЕРЫ.

2.1. Рекомендуемые размеры плит: длина до 6 м; ширина возможна любая кратная 0,3 м или 0,4 м.

2.2. Рассматриваемые плиты состоят из нижней обшивки, выполненной из гнуклеенных фанерных профилей (ПФП) трапецеидального сечения; верхней обшивки - армированный стеклохолстом заливочный пенопласт, или листовые материалы (фанера, асбестоцемент, цементно-стружечные плиты и др.) и среднего слоя из заливочного или плитного пенопласта. Средний слой наряду с теплоизоляционными функциями выполняет конструктивные функции - воспринимает сдвигающие усилия, обеспечивает устойчивость верхней сжатой обшивки.

2.3. Отдельные гнуклеенные профили, составляющие нижнюю обшивку плиты покрытия, формируются в сплошной настил с помощью поперечных деревянных ребер, установленных с шагом 1,5 м и сечением 19x100 мм. Крепление поперечных ребер к полкам ПФП осуществляется на клею КВ-3 с запрессовкой гвоздями. Толщина фанерных профилей должна быть не менее 8 мм.

2.4. В качестве среднего слоя плит может применяться любой заливочный или плитный пенопласт, и так же легкие засыпочные утеплители.

2.5. Все деревянные элементы плит покрытия должны быть подвергнуты антисептической поверхностной обработке в соответствии с действующими нормативными документами [7].

2.6. Расчет трехслойных конструкций должен производиться в соответствии с требованиями [8].

Пример 3. Трехслойная плита покрытия длиной 4,5 м с нижней обшивкой из гнуклеенных фанерных профилей и средним слоем из заливочного пенопласта.

Исходные данные: размеры плиты в плане - 1,5x4,5 м.

Верхняя обшивка: фанера клееная березовая марки ФФ сорта В/ВВ пятислойная толщиной 5 мм. Нижняя обшивка: пять гнутоклееных фанерных профилей трапециевидального сечения толщиной 8 мм. Соединение фанерных профилей по ширине панели выполняется с помощью поперечных деревянных ребер. Средний слой - заливочный фенолформальдегидный пенопласт марки ФПИ-I (ВНИИСС 50-65). Средний объемный вес пенопласта - $\rho = 0,8 \text{ кН/м}^3$. Требуемая толщина утеплителя - 3,0 см. Кровля рулонная. Уклон крыши - 14° . Здание отапливаемое, относительная влажность воздуха в помещениях 65%. Район строительства - Брестский район. Расчетный год лет плиты 435 см. Высота плиты $H = 15 \text{ см}$; высота фанерного профиля - $h_n = 10 \text{ см}$ (рис. 3).

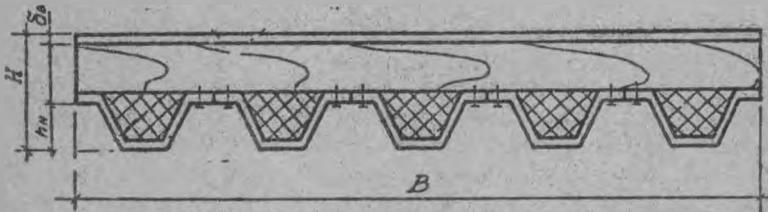


Рис. 3. Поперечное сечение трехслойной плиты
Нагрузки на плиту

Собственный вес плиты:

верхняя обшивка - $0,005 \times 7,0 \times 1,5 = 0,0525 \text{ (кН/м)}$;

нижняя обшивка - $0,008 \times 7,0 \times 1,965 = 0,1099 \text{ (кН/м)}$;

поперечные деревянные ребра - $(0,1 \times 0,019 \times 5,0) \times 4 = 0,038 \text{ (кН/м)}$.

Итого (постоянная) = 0,2004

Рубероидная кровля - $0,1 \times 1,5 = 0,15 \text{ кН/м}$.

Средний слой (пенопласт ФПИ-I) - $0,150 \times 0,8 = 0,12 \text{ кН/м}$.

Для удобства расчета выполним сбор нагрузок на плиту в табличной форме:

Таблица 3

Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Коеф. надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м
Собственный вес плиты (без утеплителя)	0,2004	1,1	0,2204
Рубероидная кровля	0,15	1,3	0,195
Средний слой (пенопласт ФПИ-I)	0,12	1,2	0,144
Итого:	$q^N = 0,47$		$q^P = 0,5594$
Снеговая нагрузка	$0,7 \times 1,5 = 1,05$	1,6	1,68
Полная	$q^N = 1,52$		$q^P = 2,24$

Расчетные характеристики материалов

Для фанеры клееной березовой марки Ф0Б расчетные сопротивления и модуль упругости принимаются по таблицам IO и II [1].

Расчетные характеристики для фанерного профиля при строение пакета 5/1+2 : $R_p^a = 14$ МПа; $R_c^a = 11,5$ МПа; $R_u^a = 16$ МПа;

$R_{c\phi}^a = 0,6$ МПа (3,5 МПа).

$E = 11000$ МПа; $G^a = 750$ МПа; $\mu^a = 0,07$.

Физико-механические характеристики для заливочного пенопласта марки ФПП-I ($\rho = 0,8$ кН/м³).

$R_{c\phi}^{pp}$	13,8 Н/см ² ;	} <small>Физико-механические характеристики</small>	$R_{c\phi}^{pc}$	5 Н/см ² ;	} <small>Физико-механические характеристики</small>
$R_{c\phi}^{pp}$	11,4 Н/см ² ;		$R_{c\phi}^{pc}$	3 Н/см ² ;	
$R_{c\phi}^{pp}$	7,8 Н/см ² ;		$R_{c\phi}^{pc}$	2,5 Н/см ² ;	
$E_{c\phi}^{pp}$	1,3 кН/см ² ;		$\rho_{ном}^{pp}$	0,8 кН/см ² ;	
$C_{связь}^{pp}$	0,9 кН/см ² ;		$C_{связь}^{pc}$	0,35 кН/см ² ;	

Методика расчета конструкции

Панель покрытия имеет достаточно сложное поперечное сечение. Поэтому ее расчет по прочности предлагается выполнять по методике основной на применении коэффициентов [4]. Нормальные напряжения (σ_c ; σ_p) и прогиб (f) в сечениях панели предлагается определять по следующим выражениям:

$\sigma_c = \sigma_c^a \cdot K_{\sigma c}$ (1)

$\sigma_p = \sigma_p^a \cdot K_{\sigma p}$ (2)

$f = f^a \cdot K_f$ (3)

где: σ_c^a , σ_p^a - нормальные напряжения (сжатия и растяжения) в расчетных сечениях профиля (без пенопласта и верхней обшивки), определяемые по формулам сопротивления материалов для поперечного изгиба;

f^a - прогиб профиля (без пенопласта и верхней обшивки);
 $K_{\sigma c}$, $K_{\sigma p}$, K_f коэффициенты.

Значение коэффициента $K_{\sigma c}$ определяется по графику на рис. 3 (приложение 3)

Значения коэффициента $K_{\sigma p}$ определяются по графикам на рис. 4 (приложение 3)

Значения коэффициента K_f определяются по графикам на рис. 5 (приложение 3)

Значения $K_{\sigma c}$ определяются в зависимости от величины варьируемых факторов X_1 и X_2 .

Значения $K_{\sigma p}$ и K_f определяются в зависимости от величины варьируемых факторов:

X_1 , X_2 и X_3 .

$$X_1 = \frac{H_{пан}}{h_n} ; X_2 = \frac{E^b \cdot p \cdot b}{E_n \cdot F_n} ;$$

$$X_3 = \frac{E_n}{C_{плст}}$$

где: $H_{пан}$ — полная высота панели, см;
 h_n — высота фанерного профиля, см;
 E^b — модуль упругости материала верхней обшивки, МПа;
 E_n — то же, фанерного профиля, МПа;
 F^b — площадь поперечного сечения верхней обшивки, см²;
 F_n — то же нижней обшивки (профиля), см².
 $C_{плст}$ — модуль сдвига материала среднего слоя (пенوپласта), МПа.

Проверка прочности панели

Усилия, действующие в расчетном сечении панели покрытия равны:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2,24 \cdot 4,35^2}{8} = 5,3 \text{ кН/м}$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{2,24 \cdot 4,35}{2} = 4,87 \text{ кН.}$$

Максимальные нормальные напряжения в верхней обшивке (сжимающие) равны: $\sigma_c = \sigma_c^n \cdot K_{\sigma}$; $\sigma_c^n = \frac{M}{W_n}$; $W_n = \frac{b \cdot h_n^3}{12}$;

$$\sigma_n = \frac{\sigma_n \cdot h_n^2 \cdot b_n}{2} + \frac{\sigma_n \cdot h_n^3 \cdot \tan^2 \varphi}{6 \cos \varphi}$$

Значения σ_n , h_n , h_n , b_n и φ приведены в табл.

$$\sigma_c^n = \frac{530}{387,4} = 1,36 \text{ кН/см}^2 = 13,6 \text{ МПа.}$$

Для определения значений K_{σ} вычислим:

$$X_1 = \frac{15}{10} = 1,5;$$

$$X_2 = \frac{9000 \cdot 75}{11000 \cdot 157,2} = 0,39.$$

Согласно графика на рис. (приложение 3) $K_{\sigma} = 0,22$.

$$\sigma_c = 13,6 \cdot 0,22 = 3 \text{ МПа} < R_c = 13 \text{ МПа.}$$

Максимальные нормальные напряжения в нижней обшивке (растягивающие) равны: $\sigma_p = \sigma_p^n \cdot K_{\sigma}$

$$\sigma_p^n = \frac{M}{W_n} = \frac{530}{387,4} = 1,36 \text{ кН/см}^2 = 13,6 \text{ МПа.}$$

Для определения значения $K_{\text{ср}}$ вычислим X_1 , X_2 и X_3 :

$$X_1 = 1,5; \quad X_2 = 0,39.$$

$$X_3 = \frac{11000}{9} = 1200.$$

Согласно графика на рис. (приложение 3) $K_{\text{ср}} = 0,6$
 $= 13,6 \cdot 0,6 = 8,16 \text{ МПа} < = 14 \text{ МПа}.$

Максимальная величина прогиба равна:

$$f = f_n \cdot K_f$$
$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J_n} = \frac{5}{384} \frac{1,52 \cdot 435^4}{110000 \cdot 2092} = 3,07 \text{ см}.$$

Согласно графика на рис. (приложение 3) $K_f = 0,5$

$$f = 3,07 \cdot 0,5 = 1,535 \text{ см}.$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1,535}{435} = \frac{1}{294} < \frac{1}{250}$$

Условие жесткости выполняется.

Максимальные касательные напряжения в среднем (пенопласте) предлагается вычислять по следующим выражениям:

$$\tau = \frac{Q}{C_{\text{ср}}} \leq R_{\text{ср}}^{\text{пк}}; \quad C_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{пан}}}{2} + \delta_{\text{пк}}^{\text{пк}} + \frac{\delta^2}{2}$$
$$\delta_{\text{пк}}^{\text{пк}} = \frac{F_{\text{пан}}}{B}$$

где: Q - поперечная сила (на единицу ширины панели) Н/см;

$C_{\text{ср}}$ - приведенная расчетная высота поперечного сечения панели, в см;

$F_{\text{пан}}$ - площадь поперечного сечения слоя заполнителя (пенопласта) в см²;

$\delta_{\text{пк}}^{\text{пк}}$ - приведенная расчетная высота слоя заполнителя (пенопласта) в см;

B - ширина панели, в см;

δ^2 - толщина верхней обшивки, в см;

h_n - высота фанерного профиля, в см.

$$\delta_{\text{пк}}^{\text{пк}} = \frac{1500}{150} = 10 \text{ см};$$

$$C_{\text{ср}} = \frac{10}{2} + 10 + \frac{0,5}{2} = 15,25 \text{ см};$$

$$Q = \frac{4870 \text{ Н}}{150 \text{ см}} = 32,46 \text{ Н/см};$$

$$\tau = \frac{32,46}{15,25} = 2,12 \text{ Н/см}^2 < R_{\text{ср}}^{\text{пк}} = 2,5 \text{ Н/см}^2.$$

Дополнительно проверяем прочность верхней обшивки и среднего слоя при действии кратковременной местной сосредоточенной нагрузки:

$$P_k = 0,012 \text{ кН/см}^2 \text{ [5]}.$$

Нормальные напряжения в обшивке:

$$\sigma_n = \theta_1 \cdot P_k \cdot (z/\delta^2)^2 \approx R_n^a;$$

$z = 0,565 \sqrt{F}$ - радиус приведенного круга.

θ_1 - определяется по графику на рис.4.

$$\frac{z}{\delta^2} \sqrt{(E_{\text{пан}} \cdot \delta^2) / (F^2 \cdot C_{\text{пр}})} =$$

$$= \frac{5,65 \sqrt{1,3 \cdot 0,5}}{0,5 \sqrt{11000 \cdot 15,25}} =$$

$$= 0,89$$

По графику на рис.4.

$$\theta_1 = 0,515; \theta_2 = 0,32;$$

$$\theta_3 = 0,81;$$

$$\sigma_1 = 0,515 \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{5,65}{0,5}\right)^2 =$$

$$= 0,78 \text{ кН/см}^2 < R_n^a =$$

$$= 1,6 \text{ кН/см}^2.$$

Касательные напряжения

в обшивке:

$$\tau = \theta_2 \cdot P_k \cdot z/\delta^2 =$$

$$= 0,32 \cdot 0,012 \cdot \frac{5,65}{0,5} =$$

$$= 0,011 \text{ кН/см}^2 < R_{\text{ск}}^a =$$

$$= 0,06 \text{ кН/см}^2.$$

Нормальные (сжимающие) напряжения в

заполнителе:

$$\sigma_c = \theta_3 \cdot P_k$$

$$\sigma_c = 0,81 \cdot 0,012 = 0,0097 \text{ кН/см}^2 = 9,7 \text{ Н/см}^2 < R_c^a = 13,6 \text{ Н/см}^2,$$

Таким образом, все условия прочности выполняются.

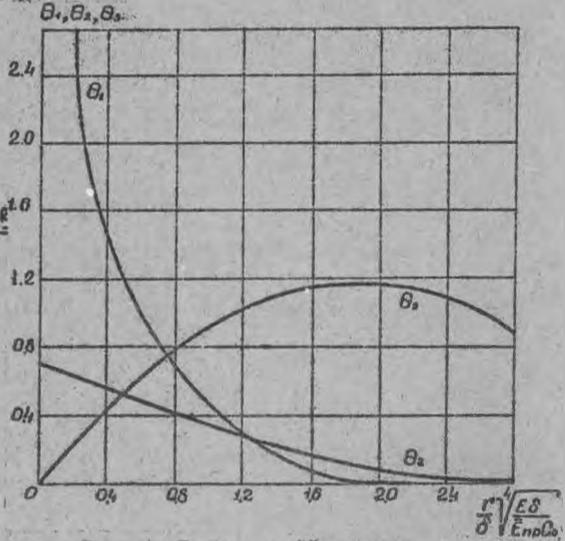


Рис. 4. График коэффициентов

3. ТРЕХСЛОЙНЫЕ СТЕНСЫЕ ПАНЕЛИ ТИПА "САНДВИЧ" С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ОБШИВКАМИ И ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ПЕНОПЛАСТА.

(Общие положения)

3.1. Трехслойные панели типа "сэндвич" представляют собой два металлических листа, соединенных между собой достаточно прочным слоем пенопласта.

3.2. Рекомендуемые размеры стеновых панелей:

ширина - 1000 мм;

длина - 2380, 2980, 3580, 4180, 4780, 7180 мм;

высота поперечного сечения - 46,6, 61,6, 81,6, 91,6 мм.

3.3. Металлические панели с утеплителем из пенопласта рекомендуются к применению в неагрессивных и слабоагрессивных средах при температуре наружной поверхности панели от минус 60 до плюс 75°C, температуре внутренней поверхности панели до плюс 30°C, относительной влажности воздуха внутри помещения не более 60%.

3.4. Стеновое ограждение зданий из панелей типа "сэндвич" может иметь как вертикальную (рис. 5, а), так и горизонтальную (рис. 5, б) разрезку. Более прогрессивна и перспективна вертикальная разрезка при которой панели располагаются вертикально на всю высоту здания, что значительно упрощает решения стыков.

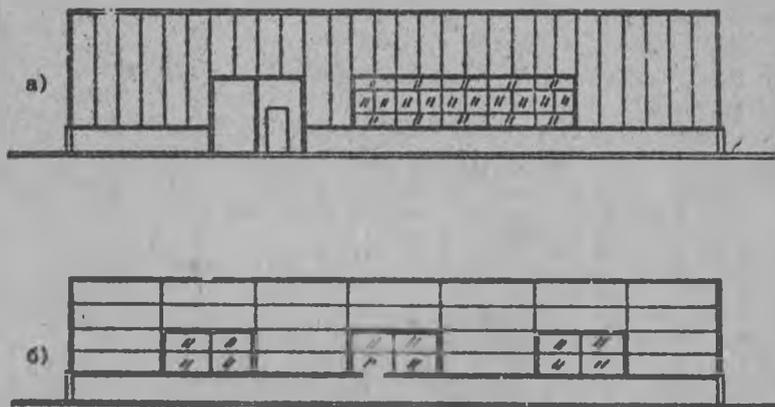


Рис. 5. Примеры разрезов стенового ограждения
а - вертикальная; б - горизонтальная.

3.5. Обшивки панелей могут быть стальными или из алюминиевых сплавов. Стены из стальных панелей имеют меньшую стоимость и более высокую огнестойкость. Применение алюминиевых панелей целесообразно при наличии агрессивных сред. Стальные обшивки имеют толщину 0,6-0,8 мм, алюминиевые - 0,8 - 1,0 мм.

3.6. В качестве среднего слоя панелей применяются заливочные пенопласты.

3.7. Толщина слоя заполнителя назначается в зависимости от расчетной зимней температуры наружного воздуха - средней температуры наиболее холодной пятидневки (см. табл. 5.1. [16]) и уточняется, в случае необходимости, для исключения перегрева в летний период согл. п. 3.1. [12] .

Расчет панелей

Основные рекомендации по расчету трехслойных панелей типа "сэндвич" с металлическими обшивками приведены в [13] .

Трехслойные стеновые панели рассчитываются на равномерно-распределенную ветровую нагрузку и на температурные климатические воздействия. Нормативные и расчетные ветровые нагрузки следует принимать в соответствии с требованиями [2] . Нормативные и расчетные величины температурных климатических воздействий, а также сочетаний силовых нагрузок и температурных воздействий следует принимать по приложению I [13] .

Расчетные сопротивления и физические характеристики материалов обшивок (стали, алюминия) следует принимать по [10,11] , а для среднего слоя по [15] .

Расчет панелей производится по первому и второму предельным состояниям.

Все нагрузки на стеновые панели являются кратковременными, поэтому в расчетах необходимо использовать для среднего слоя кратковременные расчетные сопротивления, модули упругости и сдвига.

Пример 4.

Исходные данные.

Запроектировать панель типа "сэндвич" с плоскими стальными обшивками для отапливаемого производственного здания в городе Бресте. Несущие конструкции принять по типовому проекту ТП 400-0-20.83. Длина панели 7180 мм; ширина 1016 мм.

Справочные материалы, необходимые для расчета.

Согласно табл.5 [2] нормативное значение ветрового давления
 $W_0 = 23 \text{ кг/м}^2$.

Температура внутреннего воздуха в теплое время года $t_{вн} = +20^\circ\text{C}$,
в холодное $- t_{вс} = +18^\circ\text{C}$ (табл. I прил. I [13]).

Многолетние среднемесячные температуры по картам 5 и 6 приложение 5 [2]:

$$\text{июля} - t_{вн} = +20^\circ\text{C};$$

$$\text{января} - t_{вс} = -5^\circ\text{C}.$$

Отклонение средней температуры наиболее холодных суток от
среднемесячной январской по карте 7 обязательного приложения 5 [2]

$\Delta_1 = 15^\circ\text{C}$, наиболее теплых суток от среднемесячной июльской
согласно П.8.4. [2] $\Delta_{вн} = 6^\circ\text{C}$.

Средняя амплитуда суточных колебаний температуры наружного
воздуха в июле по приложению 2 [9] $A_{вн} = 10,8^\circ\text{C}$.

Суммарная интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиа-
ции на вертикальную поверхность согласно прил. 6,7 [9] на широте
 52° С.Ш. (г.Брест) составит для стен южной ориентации $Q_{max} = 424 +$
 $+123 = 547 \text{ Вт/м}^2$, для стен восточной и западной ориентации $Q_{max} =$
 $= 572 + 166 = 738 \text{ Вт/м}^2$ (в расчетах принимаем большее из двух получен-
ных значений).

Согласно прил.7 [12] для оцинкованной стали коэффициент погло-
щения солнечной радиации $\rho = 0,65$. Согласно табл. 8 [19] степе-
нь черноты для оцинкованной стали $\epsilon = 0,28$.

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности по летним усло-
виям определяется по формуле 24 [9] при скорости ветра $v = 0$,
так как при этом происходит максимальный нагрев наружной обшивки:

$$\alpha_{н} = 1,16(5 + 10\sqrt{v}) = 1,16 \times 5 = 5,8 \text{ Вт/м}^2 \times ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент, учитывающий прозрачность атмосферы для больших
городов и промышленных центров $k = 0,7$, для горных и отдаленных
районов $k = 0,8$.

Коэффициент излучения абсолютно черного тела $C_0 = 5,75 \text{ Вт/м}^2 \times$
 $\times ^\circ\text{C}$.

Средняя температура наиболее холодной пятидневки -23° (прил.
I [19]).

Нормативные и расчетные значения ветровой нагрузки

при напоре $q^N = W_m \cdot B = W_0 \cdot k \cdot C_e \cdot B = 23 \times 0,5 \times 0,8 \times 1,0 = 9,2 \text{ кг/м}$

$$q = W \cdot B = \gamma \cdot W_0 \cdot k \cdot C_e \cdot B = 1,4 \times 23 \times 0,5 \times 0,8 \times 1,0 = 12,88 \text{ кг/м}$$

при отсосе $q^N = W_m \cdot B = W_0 \cdot k \cdot C_e \cdot B = 23 \times 0,5 \times 0,6 \times 1,0 = 6,9 \text{ кг/м}$

$$q = W \cdot B = \gamma \cdot W_0 \cdot k \cdot C_e \cdot B = 1,4 \times 23 \times 0,5 \times 0,6 \times 1,0 = 9,56 \text{ кг/м}$$

где γ - коэффициент надежности по ветровой нагрузке согласно

п.6.11 [2];

k определяется по табл. 6 [2] ;

C - аэродинамический коэффициент согл. П.6.6. [12] ;

B - ширина панели.

Нормативные и расчетные значения температур и перепадов температур.

Нормативные значения средних суточных температур в теплое $t_{ев}$ и холодное $t_{ех}$ время года определяем по формулам 17 и 18 [2] :

$$t_{ев} = t_{вн} + \Delta t_{вн} = 20 + 6 = 26^{\circ}\text{C};$$

$$t_{ех} = t_{з} - \Delta t_{з} = -5 - 15 = -20^{\circ}\text{C}.$$

Превышение температуры наружной поверхности ограждения над температурой наружного воздуха в теплое время года без учета солнечной радиации

$$Q = 0,5 \times A_{вн} = 0,5 \times 10,8 = 5,4^{\circ}\text{C}.$$

Перепад температур на обшивках в этом случае

$$V_{к}^{н} = t_{ив} - t_{ев} - Q = 20 - 26 - 5,4 = -11,4^{\circ}\text{C}.$$

Перепад температур на обшивках для холодного времени года

$$V_{к}^{н} = t_{ic} - t_{ех} = 18 - (-20) = +38^{\circ}\text{C}.$$

Для определения температуры наружной обшивки с учетом воздействия солнечной радиации необходимо определить параметры "а" и "в" [19].

Назначим толщину среднего слоя панели $\delta_{ср} = 45 \text{ мм}$ согл. табл. 5.1 [16], принимая влажность в помещении до 60%. Проверку достаточности толщины слоя пенопласта по летнему периоду не производим. Заполнитель - ППУ-317 с объемной массой $\rho_{ср} = 55 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент передачи тепла от наружной поверхности ограждения внутреннему воздуху

$$k' = \frac{1}{R_0 + 1/\alpha_0}$$

где R_0 - теоретическое сопротивление ограждения, определяемое по формуле 3 [12] ;

α_0 - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения внутреннему воздуху (для оцинкованной стали $\alpha_0 = 5,04 \text{ Вт/м}^2 \times ^{\circ}\text{C}$).

$$R_0 = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,045}{0,041} = 1,098 \text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C/Вт}$$

$$k' = \frac{1}{1,098 + 1/5,04} = 0,772$$

$$a = \frac{(\lambda n + k') \times 100}{\epsilon \cdot C_0} = \frac{(5,8 + 0,772) \times 100}{0,28 \times 5,75} = 408,2$$

$$b = \frac{(273 + t_{ев})^4}{100} + \frac{\lambda n (273 + t_{ев})}{\epsilon \cdot C_0} + \frac{k' (273 + t_{ев})}{\epsilon \cdot C_0} +$$

$$\rho \cdot \dot{q}_{\text{max}} \cdot k' / \epsilon \cdot C_0 = \frac{(273 + 26)^4}{100} + \frac{5,8 (273 + 26)}{0,28 \times 5,75} + \frac{(0,772 (273 + 20))}{0,28 \times 5,75} +$$

$$+ \frac{0,65 \times 781 \times 0,7}{0,28 \times 5,75} = 1518$$

Используя номограмму, приведенную на рис.6.Прил.4 определяем максимальную нормативную температуру наружной обшивки $t_{н} = 67^{\circ}\text{C}$.

Перепад температур на обшивках с учетом солнечной радиации $V_{\text{в}}^{\text{н}} = t_{\text{в}}^{\text{н}} - t_{н} = 20 - 67 = -47^{\circ}\text{C}$.

Для получения расчетных величин температурных перепадов нужно умножить значения нормативных перепадов на $\gamma_{\text{т}} = 1,1$ или $0,9$ в зависимости от того, какое значение получается более неблагоприятным.

В практических расчетах для определения температуры нагрева наружной обшивки можно использовать табл.4.2. [18]. По этой таблице получим: $t_{н} = 66,8^{\circ}\text{C}$, т.е. результаты совпали.

Сочетания нагрузок

Сочетания временных нагрузок и температурных климатических воздействий для расчета панелей принимается по таблице 5 [13].

№ сочетаний	Нормативные значения воздействий	Расчетные значения воздействий
1а	$q^{\text{н}} = 9,2 \text{ кг/м (напор)}$ $q^{\text{н}} = 6,9 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{в}}^{\text{н}} = -11,4^{\circ}\text{C}$	$q = 12,88 \text{ кг/м (напор)}$ $q = 9,66 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{в}} = -12,54^{\circ}\text{C}$
1б	$q^{\text{н}} = 0 \text{ кг/м}$ $V_{\text{в}}^{\text{н}} = -47^{\circ}\text{C}$	$q = 0 \text{ кг/м}$ $V_{\text{в}} = -51,7^{\circ}\text{C}$
2а	$q^{\text{н}} = 9,2 \text{ кг/м (напор)}$ $q^{\text{н}} = 6,9 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{с}}^{\text{н}} = 38 \times 0,7 = 26,6^{\circ}\text{C}$	$q = 12,88 \text{ кг/м (напор)}$ $q = 9,66 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{с}} = 26,6 \times 1,1 = 29,26^{\circ}\text{C}$
2б	$q^{\text{н}} = 9,2 \times 0,4 = 3,68 \text{ кг/м (напор)}$ $q^{\text{н}} = 6,9 \times 0,4 = 2,76 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{с}}^{\text{н}} = 38^{\circ}\text{C}$	$q = 3,68 \times 1,4 = 5,15 \text{ кг/м (напор)}$ $q = 2,76 \times 1,4 = 3,86 \text{ кг/м (отсос)}$ $V_{\text{с}} = 38 \times 1,1 = 41,8^{\circ}\text{C}$

Физические характеристики материалов обшивок и среднего слоя

Для обшивок:

модуль упругости $\bar{E} = 2,1 \times 10^5 \text{ кг/см}^2$;

модуль сдвига $\bar{G} = 8,1 \times 10^5 \text{ кг/см}^2$;

коэффициент линейного расширения $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ град.}^{-1}$

Для пенопласта:

модуль упругости $E = 120 \text{ кг/см}^2$;

модуль сдвига $G = 55 \text{ кг/см}^2$;

Подготовка исходных данных для расчета панели на ЭВМ по программе "PAIHEL" (см. рис. 6)

1. Информация о пользователе (факультет, группа, фамилия, дата)
2. Количество расчетных сечений.
3. Координаты расчетных сечений, см.
4. Толщина внутренней обшивки, см.
5. Толщина наружной обшивки, см.
6. Толщина среднего слоя, см.
7. Ширина панели, см.
8. Физические характеристики материала внутренней обшивки:
 \bar{E} - модуль упругости, кг/см^2 ;
 \bar{G} - модуль сдвига, кг/см^2 ;
 α - коэффициент линейного расширения, град.⁻¹
9. Физические характеристики материала наружной обшивки: \bar{E}, \bar{G}, α
10. Физические характеристики среднего слоя: E, G
11. Количество вертикальных связей.
12. Номера расчетных сечений, в которых имеется вертикальные связи (в любом порядке).
13. Номер сечения, в котором имеется горизонтальная связь.
14. Равномерно-распределенная погонная нагрузка на панель, кг/м .
15. Температура внутренней обшивки, $^{\circ}\text{C}$.
16. Температура наружной обшивки, $^{\circ}\text{C}$.

Примечания:

1. Информация первого пункта занимает 80 позиций, т.е. одну строку на дисплее или перфокарте.
2. Информация пунктов 2...16 вводится начиная со второй строки. Все числа отделяются друг от друга не менее чем одним пробелом.
3. Температуру наружной обшивки можно определить по формуле
$$t_n = t_{iw} - V,$$
где t_{iw} - температура внутренней обшивки,
 V - перепад температур.
4. Опорные связи можно задавать только в расчетных сечениях.
5. Горизонтальную опорную связь для всех случаев можно задавать в первом расчетном сечении.
6. Распределенная нагрузка считается положительной, если она направлена вверх, т.е. по оси Y .

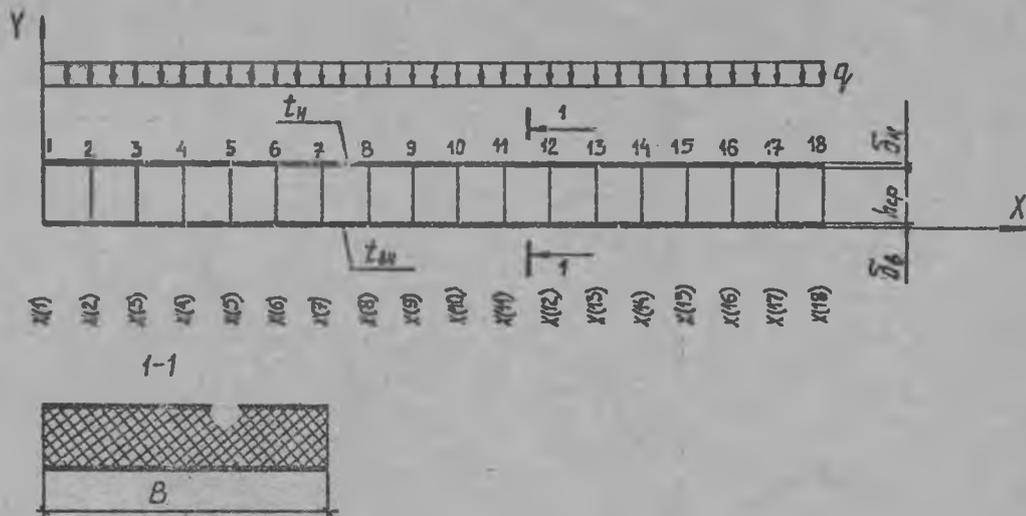


Рис. 6. 1...18 - номера расчетных сечений; $x(1)...x(18)$ - координаты расчетных сечений; δ_n - толщина наружной обшивки; $\delta_вн$ - толщина внутренней обшивки; $h_{ср}$ - толщина среднего слоя; B - ширина панели

Расчет панели на ЭВМ

Обшивки панели принимаем толщиной 0,6 мм.
Расчетная схема панели приведена на рис 7

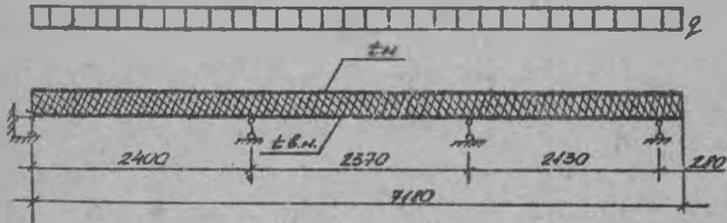


Рис. 7

Расчетные сечения назначаем через 10 см.

Тр. лья слева спора попадает между расчетными сечениями, поэтому назначаем здесь дополнительное сечение с координатой 477 см.

Исходные данные для сочетания Iб.

П-200-5 Петров И.И. 15.03.88.

74

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	
410	420	430	440	450	460	470	477	480	490	500
510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	
610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710 718

0,06 0,06 4,5 100

2,IE6 8,IE5 12E-6

2,IE6 8,IE5 12E-6

120 55

4 1 25 49 71 1

0 20 71,7

В последней строке приведены нагрузки на панель. Изменяя эту строку, получаем исходные данные для всех остальных сочетаний:

1а	-12,83	20	32,54
	9,66	20	32,54
2а	-12,88	18	-11,26
	9,66	18	-11,26
2б	-5,15	18	-23,8
	3,86	18	-23,8

Исходные данные, для каждого сочетания отдельно, записываются в набор TEST.DAT1B

Расчет осуществляется командой S_{L} PANEL, M-NNN с пульта оператора или в режиме OPER (NNN - шифр зачетной книжки студента).

На печать выводятся исходные данные, перемещения обшивок, прогибы, нормальные напряжения в обшивках и касательные в пенопласте. Перемещения и прогибы получены в расчетных сечениях, а напряжения - между расчетными сечениями.

Проверка прочности и жесткости панели

Наиболее невыгодным является сочетание "1б", для которого получены следующие результаты:

$$\sigma_{min} = -682,1 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{max} = 687,4 \text{ кг/см}^2;$$

$$\tau_{max} = 0,259 \text{ кг/см}^2;$$

$$f_{max} = 4,79 \text{ мм.}$$

Так как проверка по второму предельному состоянию ведется на действие нормативной нагрузки, то необходимо произвести расчет на действие перепада температур $V_{\text{вн}}^{\text{н}} = -47^{\circ}\text{C}$. При этом $f^{\text{н}} = 4,35 \text{ мм}$.

Проверка устойчивости сжатой обшивки производится по формуле:

$$\text{где: } \bar{\sigma}_{\text{пр}} = \frac{E}{1-\nu^2} = \frac{2,1 \times 10^6}{1-0,3^2} = 2,308 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$$

$$|\sigma_{min}| = 682,1 \text{ кг/см}^2 < R_{\text{с}}/\gamma_{\text{с}} = 2100/0,95 = 2210 \text{ кг/см}^2$$

$$\bar{\sigma}_{\text{пр}} = 0,72 \times 2,308 \times 10^6 \times 120^2 = 2315 \text{ кг/см}^2$$

Проверка прочности растянутой обшивки:

$$\sigma_{max} = 687,4 \text{ кг/см}^2 < R_{\text{с}}/\gamma_{\text{с}} = 2100/0,95 = 2210 \text{ кг/см}^2$$

Проверка прочности заполнителя при сдвиге:

$$\tau_{max} = 0,259 \text{ кг/см}^2 < R_{\text{с}}/\gamma_{\text{с}} = 1,55/0 = 1,63 \text{ кг/см}^2$$

Проверку жесткости панели производим для пролета с максимальным прогибом.

$$f/l_e = 4,35/2400 = 1/552 < [f/l_e] = 1/150$$

$$[f/l_e] \text{ определяется согласно П.13.1 [II] или П.9.2 [IQ].}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Форма и размеры поперечного сечения гнутоклееного фанерного швеллера.



Рис. I

Таблица I.

Размеры профиля в мм

Номер профиля	Высота, h	Ширина полки, b	Толщина, δ	Масса 1 п.м., кг
10	100	60	10	1,18
12	120	60	10	1,31
12а	120	80	10	1,57
14	140	60	10	1,44
14а	140	80	10	1,70
16	160	80	10	1,82
19	190	80	10	2,02
22	220	80	10	2,21
25	250	80	10	2,40
30	300	80	12	3,23

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчетные сопротивления цементностружечных плит

Табл. I.

Характеристики	Обозначение	Величины
Расчетные сопротивления, МПа		
при: - растяжении	R_p	1,0
- сжатии	R_c	3,75
- изгибе	R_x	3,75
- сдвиге	$R_{ск}$	1,0
Модуль упругости, МПа		
при: - растяжении	E_p	3000
- сжатии	E_c	2500
- изгибе	E_x	2500
- сдвиге	$E_{ск}$	1200
Коэффициент поперечной деформации	μ	0,21

Примечание: При эксплуатации в помещениях с относительной влажностью воздуха свыше 75% расчетные сопротивления следует умножить на коэффициент $\gamma_b = 0,5$

Цементностружечные плиты (ЦСП) являются трудногорюемым материалом, не выделяют токсичных продуктов, обладают средней биостойкостью, относительно легко обрабатываются и склеиваются.

Плиты выпускаются длиной 3200 и 3600, шириной 1200 и 1250 и толщиной от 8 до 40 мм (с градацией через 2 мм).

Плотность ЦСП - 1250 кг/м³

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Форма и размеры поперечного сечения трапеци-
дального гнотоклееного фанерного профиля.

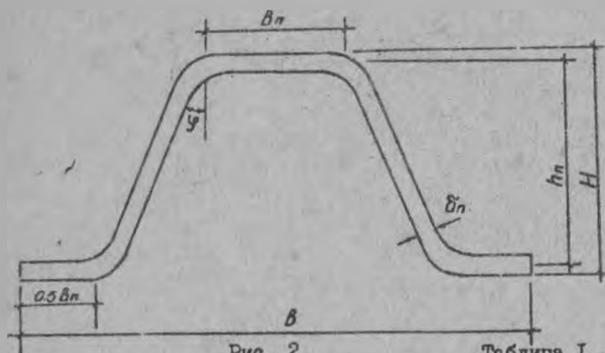


Рис. 2

Таблица I

Размеры профиля в мм.

Номер профиля	Высота профиля h_n мм	Ширина полки профиля b_n мм	Ширина профиля b мм	Угол наклона полки, φ	Толщина профиля δ_n мм	Масса I п.м. профиля кг
4а	40	110	300	45°	6	1,33
5а	50	100	300	45°	6	1,435
6а	60	90	300	45°	6	1,463
6	60	100	300	40°	8	1,995
8а	80	70	300	45°	6	1,533
8	80	83	300	40°	8	2,092
10	100	66	300	40°	8	2,206
12	120	80	400	45°	8	2,793
14	140	82	400	40°	8	2,975
15	150	74	400	40°	8	3,78

Таблица 2.

Геометрические характеристики

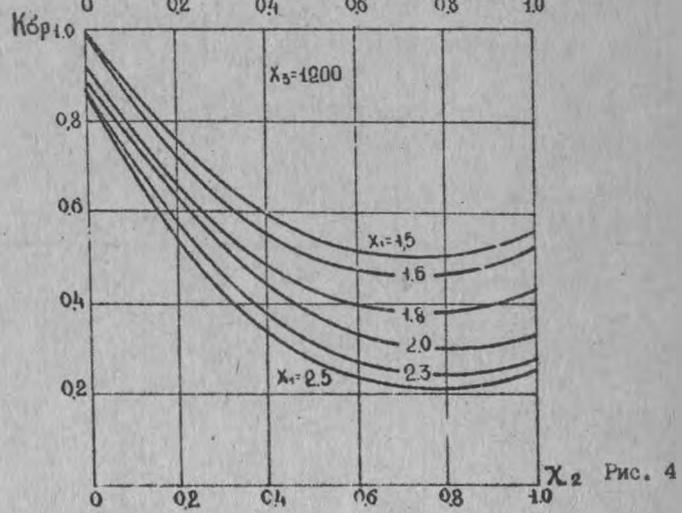
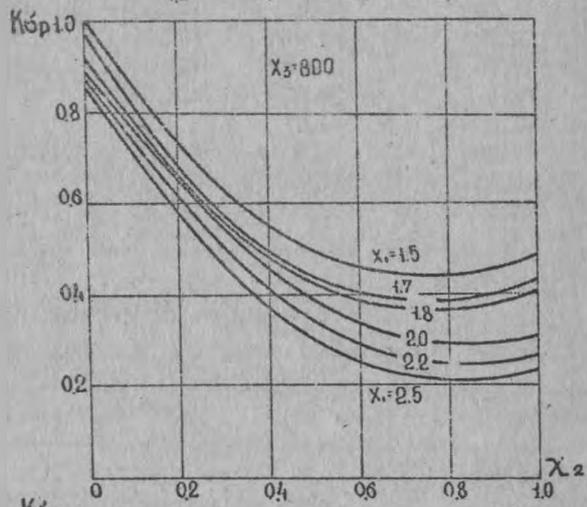
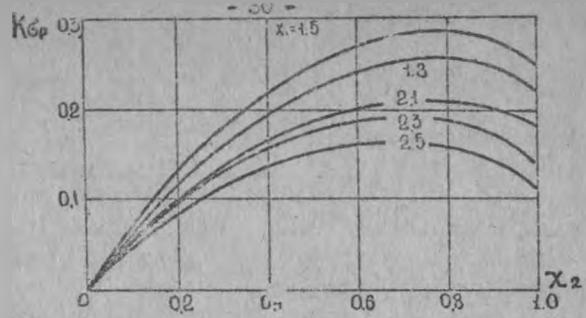
Номер профиля	F см ²	S см ³	S_y см ⁴	W_y см ³
4а	19,98	33,3	66,56	33,28
5а	20,48	34,14	99,84	39,94
6	28,53	35,66	182,53	60,84
6а	20,98	34,97	137,85	45,92
8	29,99	37,48	295,98	74,0
8а	21,97	36,62	224,35	56,1
10	31,44	39,3	418,4	83,68
12	39,95	49,94	658,49	109,75
14	42,36	52,95	1040,13	148,59
15	43,17	53,96	1149,35	153,25

Таблица 3.

Стоимость материалов трехслойных плит покрытий

Материал	! Цена, руб.	! Обоснование
Фанерный профиль $\delta = 8$ мм	316,7	Данные ЦНИИСК
Фанера марки ФСФ $\delta = 6$ мм	222,0	Пр. 07-06, стр. 20, п.166
ПВУ 316 ($\rho = 45 - 60$)	250 - 280	Табл. I [15]
ФРП - I ($\rho = 40 - 60$)	60 - 100	Табл. I [15]
Виларес - 5 ($\rho = 30 - 50$ кг/м ³)	60 - 80	Табл. I [15]

Примечание. Стоимость 1 м³



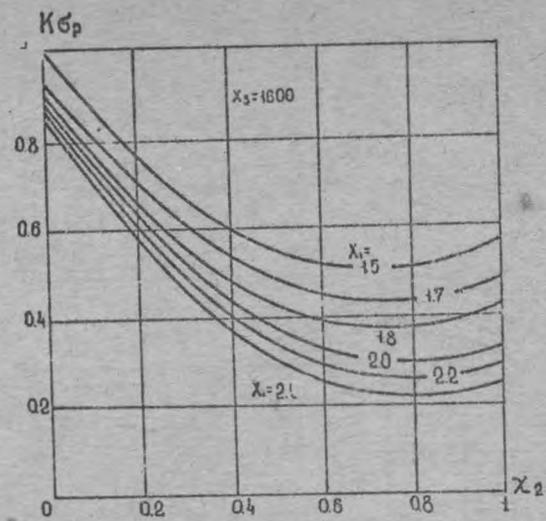


Рис. 4. Продолжение

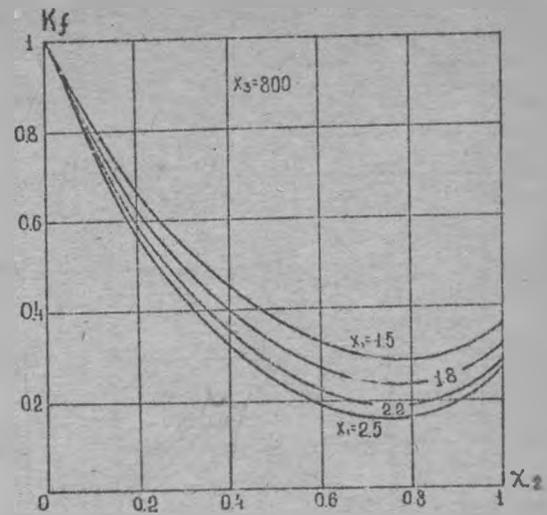


Рис. 5

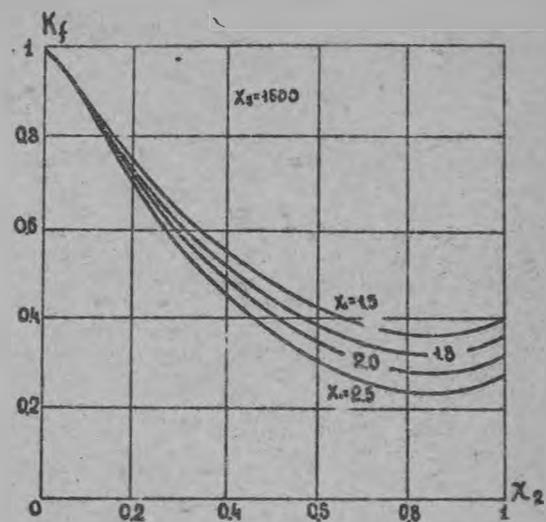
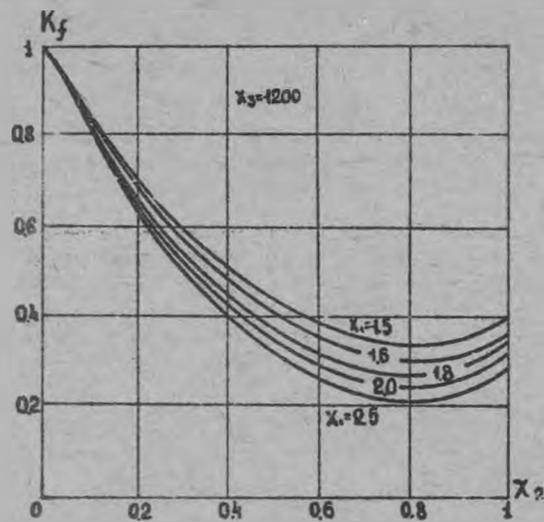


Рис. 5.Продолжение

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Справочный материал для расчета стеновых панелей типа "сэндвич".

Табл. I

Допустимые значения расчетных зимних температур наружного воздуха для стен из трехслойных панелей (табл.5.I [16]).

Толщина слоя заполнителя, мм	Относительная влажность воздуха в помещении Ψ . %, при $t_i = 18^\circ\text{C}$	
	Ψ до 50%	Ψ от 51 до 60%
45	-37	-24
60	-48	-32
80	-61	-42
90	-61	-48

Таблице 2

Расчетные сопротивления и физические характеристики материалов обшивок [10,11] .

Материал	$E, \text{кг/см}^2$	$G, \text{кг/см}^2$	γ	$\lambda, \text{мг/с}$	$R_{0,2}$ кг/см^2
Сталь	$2,1 \times 10^6$	$8,1 \times 10^5$	0,3	12×10^{-6}	2100
Алюминий	$7,1 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	0,3	23×10^{-6}	1500

Расчетные сопротивления и физические характеристики (кратковременные) пенопластов

Таблица 3

Марка пенопласта	Объемная масса кг/м^3	Расчетные сопротивления пенопласта (кг/см^2) при			Модуль упругости при растяжении кг/см^2	Модуль сдвига кг/см^2
		растяжении	сжатии	сдвиге		
I	2	3	4	5	6	7
Виларес-400А	60	0,53	0,75	0,38	50	25
	80	0,83	1,4	0,64	100	50
Виларес-400МХ	60	0,83	1,25	0,56	60	30
	70	1,25	1,9	0,93	120	55

продолжение табл.3

I	1	2	3	4	5	6	7
Сиспур	40		1,5	1,0	1,0	90	40
	60		2,2	1,5	1,5	110	55
ППУ-317	45		1,6	1,3	1,3	98	45
	55		2,0	1,55	1,55	120	55

Таблица 4

Температура внутреннего воздуха помещений производственных зданий (табл. прил. I [13]).

Характеристика помещения	Температура, °С	
	в теплое время года t_{w}	в холодное время года t_{ic}
Без избыточных тепловыделений	+20	+18
С избыточными тепловыделениями	+20	+24

Таблица 5

Солнечная радиация, поступающая в июле на вертикальную поверхность при безоблачном небе, Вт/м²
(Прил. 6,7 [9]).

Широта, град. с.ш.	Южная ориентация		Восточная и западная ориентация	
	прямая	рассеянная	прямая	рассеянная
38	230	106	541	180
40	257	110	561	179
42	285	113	570	178
44	314	114	579	177
46	343	116	578	174
48	370	120	590	174
50	398	123	601	174
52	424	123	607	174
54	451	123	614	174
56	479	124	621	165
58	508	126	629	156
60	534	123	632	149
62	558	122	635	143
64	582	121	655	143
66	609	121	563	143
68	637	121	669	143

Таблица 6

Коэффициенты поглощения солнечной радиации ρ и степень черноты ϵ наружной поверхности ограждающей конструкции (Прил. 7 [12], [19], табл.3 прил. I [13]).

Наименование материала и состояние поверхности	ρ	ϵ
Сталь оцинкованная	0,65	0,28
Асбестовый матовый	0,33	0,055
Алюминий окисленный	0,50	0,10
Лакокрасочные и полимерные покрытия:		
белые	0,20	0,90
светло-серые	0,45	0,90
светло-коричневые (охра)	0,45	0,90
темно-серые	0,50	0,90
зеленые	0,60	0,90
коричневые	0,70	0,90
темно-красные	0,80	0,90
фиолетовые, синие	0,85	0,90
черные	0,93	0,90
Белая фарфоровая эмаль	0,30	0,90

Таблица 7

Величины нагрева наружных обшивок металлических ограждающих конструкций под действием солнечной радиации, °С (табл. 4.2 [18]).

Широта, град.	Алюминий окисленный	Сталь оцинкованная	Цвета пленочных и лакокрасочных покрытий			
			Белый	охра	Зеленый	Темно-синий
40	52	52	38	39	42	43
45	57	58	38	39	42	48
50	66	66	38	39,5	43	51
55	68	68	38	40	45	52
60	72	72	38,5	42	48	59
65	75	75	38,5	41	51	60

Таблица 8

Перепад температуры по сечению панели
(табл.4 прил. I [13]).

Типы зданий	Перепад температур Δ	
	для теплого времени года Δ_w	для холодного времени года Δ_c
Неотопливаемые	$\Delta_w = t_{ew} - t_n$ $\Delta_w = -\theta$	$\Delta_c = 0$
Отопливаемые	$\Delta_w = t_{iw} - t_n$ $\Delta_w = t_{iw} - t_{ew} - \theta$	$\Delta_c = t_{ic} - t_{ec}$

t_n - температура наружной обшивки с учетом действия солнечной радиации.

Таблица 9.

Сочетания временных нагрузок и температурных климатических воздействий (табл.5 прил. I [13]).

Время года, типы зданий	Сочетание временных нагрузок и температурных климатических воздействий
1. лето	а) Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температуры Δ_w при температуре t_n , определяемой без учета солнечной радиации. б) Ветровая нагрузка $q = 0$; перепад температуры Δ_w при температуре t_n , определяемой с учетом солнечной радиации.
2. Холодное, отопливаемые	а) Ветровая нагрузка по СНиП; перепад температур Δ_c с коэффициентом сочетания 0,7; б) Ветровая нагрузка по СНиП с коэффициентом сочетания 0,4; перепад температур Δ_c
3. Холодное, неотопливаемые	а) Ветровая нагрузка по СНиП, перепад температур $\Delta_c = 0$.

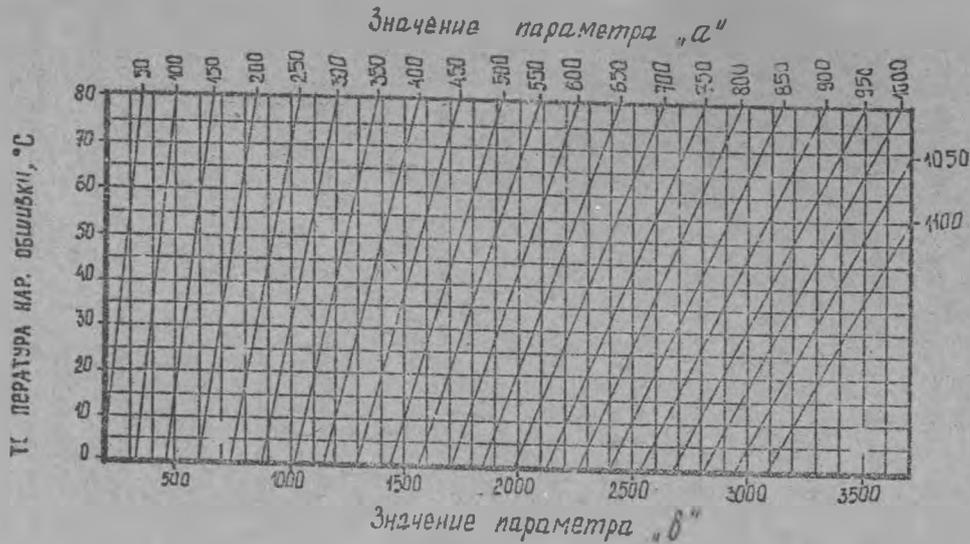


Рис. 6 Номограмма для определения температуры нагрева металлических поверхностей (рис. 43 [19])

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП П-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1983. - 31 с.
2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. - 36 с.
3. ГОСТ 22242-76 "Профили фанерные гнутоклеевые швеллерного сечения".
4. Черноиван В.И. Разработка слоистых панелей на основе профилированной фанеры и фенольного пенопласта. Канд.дисс. - М.: ЦНИИСК, 1984, 164 с.
5. Рекомендации по проектированию, изготовлению и применению конструкций на основе цементно-стружечных плит. / ЦНИИСК им.Кучеренко. - М.: 1986. - 75 с.
6. ГОСТ 26816-86. Плиты цементностружечные.
7. Руководство по обеспечению долговечности деревянных клееных конструкций при воздействии на них микроклимата зданий различного назначения и атмосферных факторов / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1981. - 96 с.
8. Рекомендации по проектированию и расчету конструкций с применением пластмасс. / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: 1969. - 149 с
9. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1983. - 136 с.
10. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. - 48 с.
11. СНиП П-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. - 96 с.
12. СНиП П - 23-79*. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. - 32 с.
13. Рекомендации по расчету трехслойных панелей с металлическими обшивками и заполнителем из пенопласта. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1976. - 25 с.
14. Технические условия. Типовые решения. Металлические ограждающие конструкции промышленных зданий / ЦНИИПромзданий Госстро. СССР. - М.: Стройиздат, 1980. - 253 с.
15. Справочник по физико-механическим характеристикам строительных пенопластов и сотовпластов / ЦНИИСК им.Кучеренко, М.: Стройиздат, 1977. - 79 с.

16. Кутухтин Е.Г. и др. Легкие конструкции одноэтажных производственных зданий. М.: Стройиздат, 1988. - 263 с.

17. Губенко А.Б. Строительные конструкции с применением пластмасс. М.: Стройиздат, 1970. - 328 с.

18. Тамплов Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции. Л.: Стройиздат, 1988. - 248 с.

19. Тамплов Ф.Ф. Ограждающие конструкции из алюминиевых панелей. Л.: Стройиздат, 1976. - 96 с.

РАСЧЕТ ЛЕГКИХ ОГРАЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Методические указания для дальнейшего проектирования
по курсу "Конструкции из дерева и пластмасс" для
студентов специальности 29.03 "Промышленное и гражданское строительство" дневной и заочной форм обучения

Вячеслав Николаевич Черноиван
Василий Васильевич Жук
Анатолий Яковлевич Найчук
Александр Сергеевич Левчук

Методические указания
утверждены в качестве
официального материала
ученым советом института

Редактор Строич Т.В.

Подписано к печати 28.02.89 г. Бумага писч. цв.
Печать офсетная. Уч. изд. л.2,5. Усл. п. л. 2,4.
Заказ № 293. Тираж 300 экз. Бесплатно.
Отпечатано на ротапринтере Брестского инженерно-
строительного института.
224017. Брест, ул. Московская, 267