

Практическое занятие № 9.1

На тему: «Плоскостные сплошные конструкции. Расчет клеефанерных плит покрытия»

Плиты покрытия - изделия промышленного изготовления. Область применения - в зданиях с наружным отводом воды с кровли, в отапливаемых зданиях при относительной влажности воздуха в помещениях до 75%, в неотапливаемых при расчетной температуре наружного воздуха не ниже $t=50^{\circ}\text{C}$. Конструкция плит зависит от материалов каркаса и обшивок (древесина, пластмассы, древесные пластики), а также температурного режима здания (отапливаемое или неотапливаемое). В общем виде плита покрытия (рис.1) состоит из каркаса, который включает несущие продольные ребра 1, конструктивные поперечные ребра 2, верхнюю и нижнюю обшивки 3. Габаритные размеры плиты покрытия: длина соответствует шагу «В» несущих конструкций $L_{\text{п}}=B-20$ мм, где 20 мм - зазор между торцами соседних плит; ширина соответствует стандартной ширине материала обшивок $b_{\text{п}}=b_{\text{обш}}-\rho$, где ρ - припуск на механическую обработку материала обшивок (например для фанеры на обрезку кромок $\rho=2\times 10$ мм), при отсутствии обработки $\rho=0$; толщина (высота поперечного сечения) должна составлять $h=(1/15 - 1/35)L$. Утеплитель в плитах должен применяться из негорючих материалов.

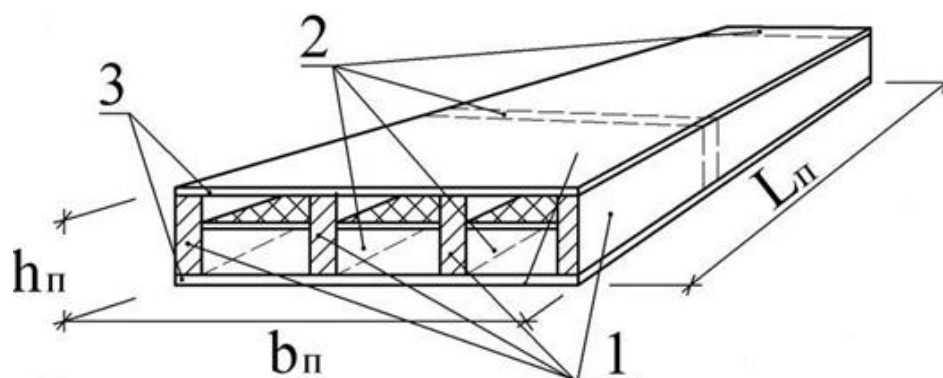


Рис. 1. Конструкция клеефанерной плиты покрытия

Расчет клеефанерных плит покрытия, работающих по балочной схеме, ведется по предельным состояниям. При компоновке конструкции для

определения количества продольных ребер проверяют верхнюю обшивку плиты, если она имеется по конструкции, на местный изгиб от веса монтажника $R_{расч}=1.2$ кН (1-я группа предельных состояний). Геометрические характеристики плиты приводят к фанере.

Приведенный к фанере момент инерции сечения

$$J_{пр.ф} = J_{ф} + J_{др} E_{др} / E_{ф} ,$$

Приведенный к древесине момент инерции сечения

$$J_{пр.др} = J_{др} + J_{ф} E_{ф} / E_{др} ,$$

где $E_{др}$ и $E_{ф}$ - модули упругости фанеры и древесины соответственно; $J_{др}$ - момент инерции продольных деревянных ребер, $J_{ф}$ - момент инерции фанерных обшивок.

Приведенный момент сопротивления сечения

$$W_{пр} = J_{пр} / Y ,$$

где Y - координата наиболее удаленной точки сечения от нейтральной оси.

По 1-й группе предельных состояний проверяют:

а). нижнюю обшивку на растяжение по формуле

$$\sigma_{раст} = M_{max} / W_{пр} \leq R_{ф.р} \cdot 0,6$$

где $M_{max} = q_{полн} L^2 / 8$, $R_{ф.р}$ - расчетное сопротивление фанеры растяжению, 0.6 - коэффициент, учитывающий ослабление фанеры стыком "на ус";

б). верхнюю обшивку на сжатие с учетом устойчивости по формуле

$$\sigma_c = \frac{M}{\left(\frac{E}{E_{ф}} J_{др} + \varphi_{ф} J_{ф} \right)} (h_{пл} - y_0) \leq R_{ф.с}$$

где $R_{ф.с}$ - расчетное сопротивление фанеры сжатию, $\varphi_{ф}$ - коэффициент продольного изгиба фанерной обшивки; $h_{пл}$ - высота поперечного сечения плиты или панели. Однако данная формула, учитывая совместную работу деревянных ребер и приклеенных к ним фанерных обшивок, дает заниженные значения сжимающих напряжений в верхней обшивке. В запас несущей способности плиты проверку устойчивости верхней фанерной обшивки можно производить по формуле

$$\sigma_c = M_{max} / (\varphi_{ф} W_{пр}) \leq R_{ф.с} ,$$

где $R_{ф.с}$ - расчетное сопротивление фанеры сжатию, ϕ_{ϕ} - коэффициент продольного изгиба фанерной обшивки;

в). фанерную обшивку на срез между шпонами в зоне крепления к продольным ребрам

$$\tau = QS_{\phi} / (J_{np} b_{расч}) \leq R_{ф.ск},$$

где $Q = qL/2$ - поперечная сила, S_{ϕ} - статический момент фанерной обшивки относительно нейтральной оси сечения, $b_{расч} = \sum b_{реб}$ - суммарная ширина продольных ребер.

По II группе предельных состояний проверяют прогиб плиты:

$$f = 5/384 (q_n L^4 / E_{\phi} J_{np} * 0.7) \leq f_u,$$

где 0,7 - коэффициент, учитывающий приращение прогибов клефанерной плиты при эксплуатации.

1.Пример расчета клефанерной плиты покрытия.

Исходные данные:

1.	Район строительства	г. Москва
2.	Шаг несущих конструкций	6 м
3.	Вид покрытия	теплое
4.	Ограждающие конструкции покрытия	клефанерные плиты
5.	Утеплитель	минеральная вата
	объемный вес утеплителя	50 кг/м ³
	толщина утеплителя	150 мм
6.	Тип кровли	металлочерепица
7.	Ширина клефанерных плит	1,2 м

Принимаем следующие параметры клефанерной плиты покрытия:

- плита покрытия утепленная, под жесткую кровлю из металлочерепицы, т.е. только с нижней фанерной обшивкой;
- кровля жесткая из металлочерепицы типа «Каскад»
- фанера марки ФСФ сорта I/II соединяется с деревянным каркасом клеем типа 1;
- ребра плиты покрытия из сосновых досок II сорта;
- утеплитель минераловатный толщиной 80 мм с объемным весом $\gamma = 1 \text{ кН/м}^3$.

С целью недопущения увлажнения утеплителя принимается сквозная естественная вентиляция внутренних полостей плиты наружным воздухом. Вентиляция осуществляется в продольном направлении плиты.

Принимаются размеры клеефанерной плиты :

- ширина плиты $b_n = 1200 - 2 \times 10 = 1180$ мм;
- длина плиты $L_n = 6000 - 2 \times 10 = 5980$ мм (в соответствии с шагом

несущих конструкций).

- Толщина плиты $1/30 \dots 1/35$ пролета - 200 мм;

Номинальные размеры плиты в плане: $1,18 \times 5,98$ м.

Обшивка клеефанерной плиты изготавливается из водостойкой фанеры марки ФСФ (ГОСТ 3916). Толщина нижней фанерной обшивки принимается равной 10 мм.

Каркас плиты состоит из сосновых досок *II сорта*, для которых взяты черновые заготовки по рекомендуемому сортаменту пиломатериалов сечением 50×200 мм. После сушки до 12% влажности и четырехстороннего фрезерования для склейки с фанерной обшивкой применяются чистые доски сечением 42×192 мм.

Под утеплителем устраивается слой пароизоляции из полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм. Над утеплителем с целью удаления конденсационной влаги и создания в полости плиты нормального температурно-влажностного режима устраивается вентилируемый воздушный зазор 42 мм.

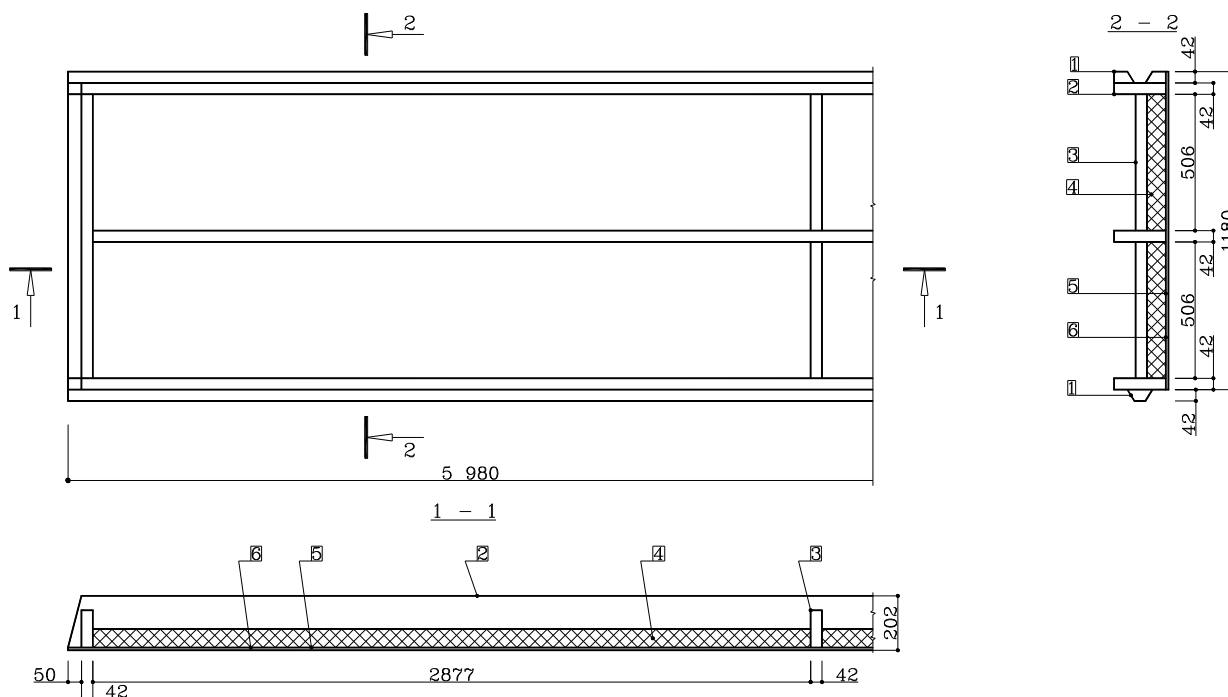


Рис.2. Утепленная клефанерная плита с одной нижней обшивкой под кровлю из металлочерепицы:

1 – боковые трапецевидные бруски; 2 – продольные ребра из досок; 3 – поперечные ребра из досок; 4 – утеплитель толщиной 80 мм; 5 – обшивка из фанеры толщиной 10 мм; 6 – пароизоляция толщиной 0,2 мм.

Полная нагрузка на 1 погонный метр панели:

Нормативная $q_n = 1,446 \cdot 1,18 = 1,71 (\text{кН} / \text{м})$; расчетная $q = 2,101 \cdot 1,18 = 2,48 (\text{кН} / \text{м})$.

Расчетные характеристики материалов (для режима нагружения «В» табл. 4 СП 64.13330.2017).

Для семислойной фанеры марки ФСФ сорта I/II толщиной 10 мм следующие характеристики:

расчетное сопротивление растяжению $R_{ф.р.} = 14 \text{ МПа}$;

расчетное сопротивление скалыванию $R_{ф.ск.} = 0,8 \text{ МПа}$;

модуль упругости фанеры $E_{ф.} = 9000 \text{ МПа}$.

Для древесины ребер:

расчетное сопротивление изгибу $R_{др.и.} = 13 \text{ МПа}$;

модуль упругости древесины $E_{др.} = 10000 \text{ МПа}$.

Расчет клееных элементов из древесины и фанеры следует выполнять по методу приведенного поперечного сечения. Определим геометрические и физические характеристики такого сечения:

- расчетная ширина фанерной обшивки $b_{расч} = 0,9 \cdot b = 0,9 \cdot 1,18 = 1,062(м)$,

Геометрические характеристики панели приводим к древесине ребер.

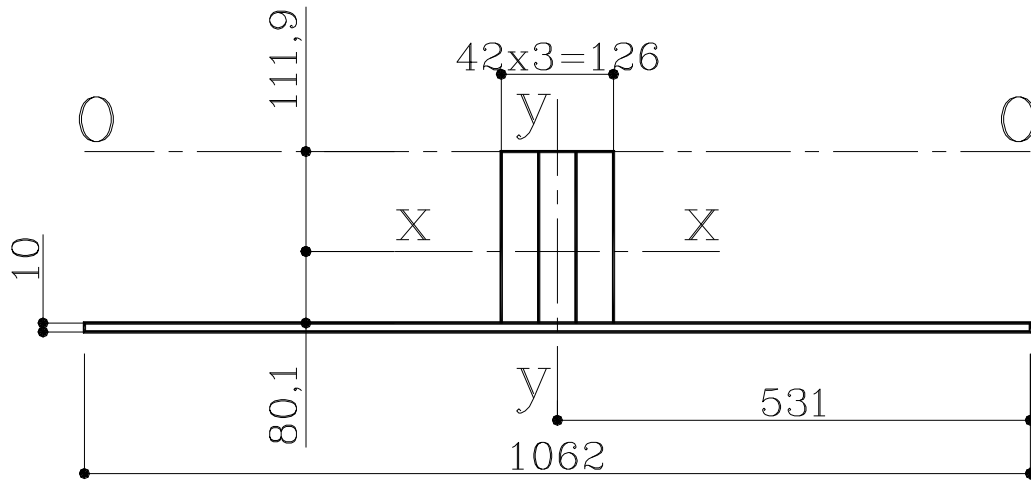


Рис. 3. Расчетное поперечное сечение клефанерной плиты покрытия с одной нижней обшивкой.

приведенная площадь поперечного сечения:

$$F_{np}^{op} = n_p \cdot b_p \cdot h_p + b_{np} \cdot \delta_\phi \cdot \frac{E_\phi}{E_{op}} = 3 \cdot 4,2 \cdot 19,2 + 106,2 \cdot 1,0 \cdot \frac{9000}{10000} = 337,5(см^2);$$

приведенный статический момент поперечного сечения панели относительно оси О-О:

$$S_{np} = \frac{n_p \cdot b_p \cdot h_p^2}{2} + b_{np} \cdot \delta_\phi \cdot \left(h_n - \frac{\delta_\phi}{2} \right) \cdot \frac{E_\phi}{E_{op}} = \frac{3 \cdot 4,2 \cdot 19,2^2}{2} + 106,2 \cdot 1,0 \cdot \left(20,2 - \frac{1,0}{2} \right) \cdot \frac{9000}{10000} = 3775,3(см^3);$$

Расстояние от оси О-О до нейтральной оси панели х – х:

$$y_0 = \frac{S_{np}}{F_{np}} = \frac{3775,3}{337,5} = 11,19(см);$$

Расстояние от нейтральной оси плиты х – х до наружной грани фанерной обшивки:

$$y_o' = h_n - y_o = 20,2 - 11,19 = 9,01(см);$$

Расстояние от нейтральной оси плиты х – х до центра тяжести ребер:

$$y_p = y_0 - \frac{h_p}{2} = 11,19 - \frac{19,2}{2} = 1,59(см);$$

Момент инерции фанерной обшивки относительно нейтральной оси х – х (без учета момента инерции фанерной обшивки относительно собственной оси):

$$J_{\phi} = b_{np} \cdot \delta_{\phi} \cdot \left(y_0' - \frac{\delta_{\phi}}{2} \right)^2 = 106,2 \cdot 1,0 \cdot \left(9,01 - \frac{1,0}{2} \right)^2 = 7691 (\text{см}^4);$$

момент инерции ребер относительно нейтральной оси плиты х – х:

$$J_{op} = \frac{n_p \cdot b_p \cdot h_p^3}{12} + n_p \cdot b_p \cdot h_p \cdot y_p^2 = \frac{3 \cdot 4,2 \cdot 19,2^3}{12} + 3 \cdot 4,2 \cdot 19,2 \cdot 1,59^2 = 8043,4 (\text{см}^4);$$

приведенный к древесине момент инерции плиты:

$$J_{np}^{\partial p} = J_{op} + J_{\phi} \cdot \frac{E_{\phi}}{E_{op}} = 8043,4 + 7691 \cdot \frac{9000}{10000} = 14965,3 (\text{см}^4);$$

приведенный к фанере момент инерции:

$$J_{np}^{\phi} = J_{\phi} + J_{op} \cdot \frac{E_{op}}{E_{\phi}} = 7691 + 8043,4 \cdot \frac{10000}{9000} = 16628,1 (\text{см}^4).$$

Проверка плиты по предельным состояниям 1-й группы.

Максимальный изгибающий момент:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l_p^2}{8} = \frac{2,101 \cdot 5,92^2}{8} = 9,21 (\text{кН} \cdot \text{м}).$$

Проверка нижней растянутой обшивки на прочность:

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot y_0'}{J_{np}^{\partial p}} = \frac{921 \cdot 9,01}{14965,3} = 0,556 (\text{кН}/\text{см}^2) = 5,56 (\text{МПа}) \leq m_{\phi} \cdot R_{\phi.p.} = 0,6 \cdot 14 = 8,4 (\text{МПа});$$

где расчетное сопротивление фанеры растяжению

$$R_{\phi.p} = R_{\phi.p.}^A \cdot m_{дл} = 21 \text{ МПа} \cdot 0,66 = 14 \text{ МПа}$$

напряжение в продольных ребрах, работающих на изгиб:

$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot y_0}{J_{np}^{\phi}} = \frac{921 \cdot 11,19}{16628,1} = 0,62 (\text{кН}/\text{см}^2) = 6,2 (\text{МПа}) \leq R_{op.u.} = 13 (\text{МПа}),$$

где расчетное сопротивление древесины ребер изгибу

$$R_{др.и} = R_{и.}^A \cdot m_{дл} = 19,5 \text{ МПа} \cdot 0,66 = 13 \text{ МПа}$$

Проверка скалывающих напряжений по клеевому слою между шпонами фанерной обшивки в зоне приклейки продольных ребер каркаса производится по формуле:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}^{\phi}}{J_{np}^{\phi} \cdot b_{расч}} \leq R_{ф.ск}.$$

Максимальная поперечная сила в плите

$$Q = \frac{q \cdot l_p}{2} = \frac{2,101 \cdot 5,92}{2} = 6,22(\kappa H).$$

приведенный статический момент фанерной обшивки относительно нейтральной оси х – х:

$$S_{np}^{\phi} = b_{np} \cdot \delta_{\phi} \cdot \left(y_0' - \frac{\delta_{\phi}}{2} \right) = 106,2 \cdot 1,0 \cdot \left(9,01 - \frac{1,0}{2} \right) = 903,8(\text{см}^3).$$

расчетная ширина клевого соединения:

$$b_{расч} = n_p \cdot b_p = 3 \cdot 4,2 = 12,6(\text{см}).$$

расчетное сопротивление фанеры растяжению

$$R_{ф.ск} = R_{ф.ск.}^A \cdot m_{дл} = 1,2 \text{ МПа} \cdot 0,66 = 0,8 \text{ МПа}$$

касательные напряжения:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}^{\phi}}{J_{np}^{\phi} \cdot b_{расч}} = \frac{6,22 \cdot 903,8}{16628,1 \cdot 12,6} = 0,027(\kappa H / \text{см}^2) = 0,27(\text{МПа}) \leq R_{ф.ск.} = 0,8(\text{МПа}).$$

Проверка плиты по предельным состояниям 2-й группы.

Погонная нормативная нагрузка $q^n = 1,446 \text{ кН/м} = 0,01446 \text{ кН/см}$;

Модуль упругости древесины $E_{др} = 10000 \text{ МПа} = 1000 \text{ кН/см}^2$.

Относительный изгиб плиты:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n \cdot l_p^3}{0,7 \cdot E_{др} \cdot J_{np}^{др}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,01446 \cdot 592^3}{0,7 \cdot 1000 \cdot 14965,3} = \frac{1}{268} < \frac{1}{200},$$

где $1/200L$ - предельный прогиб клефанерной плиты по эстетико-психологическим требованиям.