

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Кафедра промислового, цивільного будівництва  
та інженерних споруд

**03-01-129М**

### **Методичні вказівки**

до виконання курсової роботи  
«Одноповерхова промислова будівля в дереві»  
з навчальної дисципліни «Перспективні напрямки досліджень,  
проектування і застосування конструкцій з деревини»  
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Промислове і цивільне  
будівництво» спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
всіх форм навчання.

### **Конструювання та розрахунок ребристої плити з фанерними обшивками**

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННІБА  
Протокол № 10 від 28.02.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання курсової роботи «Одноповерхова промислова будівля в дереві» з навчальної дисципліни «Перспективні напрямки досліджень, проектування і застосування конструкцій з деревини» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Промислове і цивільне будівництво» спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Іванюк А. М., Алексієвець В. І., Алексієвець І. І., Філіпчук С. В. – Рівне : НУВГП, 2023. – 22 с.

Укладачі: Іванюк А. М., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Алексієвець В. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Алексієвець І. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Філіпчук С. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Керівник групи забезпечення

спеціальності:

Бабич Є. М.

© Іванюк А. М., Алексієвець В. І.,  
Алексієвець І. І., Філіпчук С. В., 2023  
© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2023

## З М І С Т

1.	Основні правила конструювання та розрахунку плит покриття .....	4
2.	Конструювання та розрахунок ребристої плити з фанерними обшивками .....	7
2.1.	Конструктивні рішення .....	7
2.2.	Визначення зусиль в плиті від зовнішніх факторів .....	10
2.3.	Визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу .....	11
2.4.	Перевірка плити за граничним станом несучої здатності .....	13
2.5.	Перевірка напружень в нормальних перерізах ребер плити .	14
2.6.	Перевірка несучої здатності плити з врахуванням повзучості її матеріалів .....	16
2.7.	Перевірка ребер плити за граничними станами несучої здатності з врахуванням повзучості .....	17
2.8.	Перевірка клеєних з'єднань обшивок з поздовжніми ребрами на зсув .....	18
2.9.	Перевірка верхньої обшивки на дію зосередженого монтажного навантаження .....	19
2.10.	Перевірка плити за граничним станом експлуатаційної придатності.....	20
	Література.....	22

## 1. Основні правила конструювання та розрахунку плит покриття

Для покриттів будівель можуть використовуватися як утеплені, так і не утеплені плити покриття. Для м'яких покрівель використовують наступні типи утеплених плит:

- ребристі з двосторонніми обшивками із водостійкої фанери;
- з двосторонніми обшивками із плоских азбестоцементних листів на шурупах по дерев'яному каркасу;
- з двосторонніми обшивками із OSB чи ЦСП.

Для покрівель із хвилястих азбестоцементних листів, сталюого профнастилу, плоских сталюих листів, черепиці і т.п. використовують плити:

- ребристі з нижньою обшивкою із водостійкої фанери по дерев'яному каркасу;
- з нижньою обшивкою із плоских азбестоцементних листів, OSB, ЦСП чи декоративного фіброліту та інших звукопоглинаючих матеріалів на шурупах по дерев'яному каркасу.

В якості утеплювача рекомендується використовувати мінераловатні плити на синтетичному в'язучому, що вкладаються на нижню обшивку по шару проклеєної або нанесеної пароізоляції.

Деякі приклади конструктивних рішень плит покриття приведені на рис. 1.1 і 1.2.

Плити рекомендується влаштовуються зверху на несучі конструкції. Конструкція крайніх повздожніх ребер повинна допускати виконання утепленого стиках між плитами рис. 1.2.

Рекомендовані розміри плит:

- номінальна  $b$  ширина 1,5 м;
- висота  $h$  складає  $1/30 \div 1/20$  від її довжини  $l$ ;
- довжини  $l$  до 6 м при обпиранні на несучі конструкції, що розташовані поперек будівлі.

При кроці несучих конструкцій 3 м рекомендується застосовувати двопролітні плити довжиною 6 м і добірні довжиною 3 м. Влаштування перших і других слід виконувати врозбіжку. При кроці несучих конструкцій 4,5 і 6 м рекомендується використовувати однопролітні плити номінальною довжиною 4,5 і 6 м. У випадку обпирання плит на несучі конструкції, розташованих вздовж будівлі, при двохстих та одностих покрівлях допускається використовувати плити з номінальною довжиною 9 і 12 м.

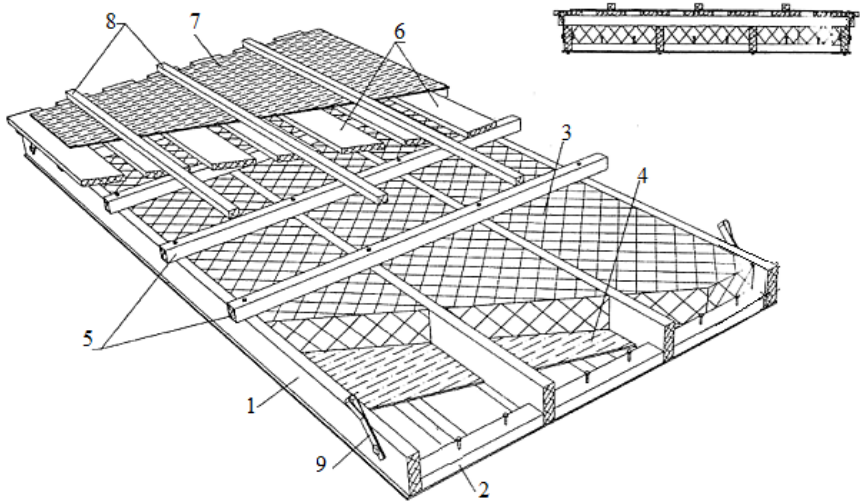


Рис. 1.1. Конструктивна схема плити покриття на дерев'яному каркасі з нижньою обшивкою із OSB чи ЦСП під покриття з черепиці:  
 1 – поздовжні несучі ребра з пиломатеріалів або клеєної деревини; 2 – нижня обшивка, що кріпиться до ребер за допомогою гвинтів або скоб; 3 – утеплювач; 4 – пароізоляція; 5 – бруски для забезпечення провітрювання утеплювача; 6 – дощатий проріджений настил; 7 – шар гідроізоляції; 8 – обрешітка під черепицю; 9 – монтажні петлі.

Обшивки ребристих плит виготовляють з фанери згідно з ДСТУ EN 636:2014 товщиною не менше 6 мм, дерев'яний каркас – з пиломатеріалів хвойних порід (див. табл. Б.1 Додаток Б [1]), клеєної деревини (див. табл. Б.3 або Б.4 Додаток Б [1]) або клеєного шпону.

Каркас ребристих плит складається з поздовжніх ребер, крок між якими визначаємо за допомогою розрахунку. Фанерні обшивки і поздовжні ребра каркасу з'єднуються між собою в одне ціле на водостійкому клею і утворюють коробчастий або тавровий розрахунковий переріз.

Розрахунок ребристих плит виконують у відповідності підрозділу 11.3 [1]. Товщину нижньої обшивки плит визначається із умови роботи її на розтяг при згині цілого коробчастого або таврового перерізу.

Товщина верхньої стиснутої обшивки визначається із умови стійкості при роботі на згин всього перерізу і додатково виконується перевірка на місцевий згин від зосередженого монтажного

навантаження F. Стиги фанерних обшивок рекомендується виконувати на «вус» довжиною 8-10 товщин фанери. Допускається з'єднання фанери за допомогою накладок.

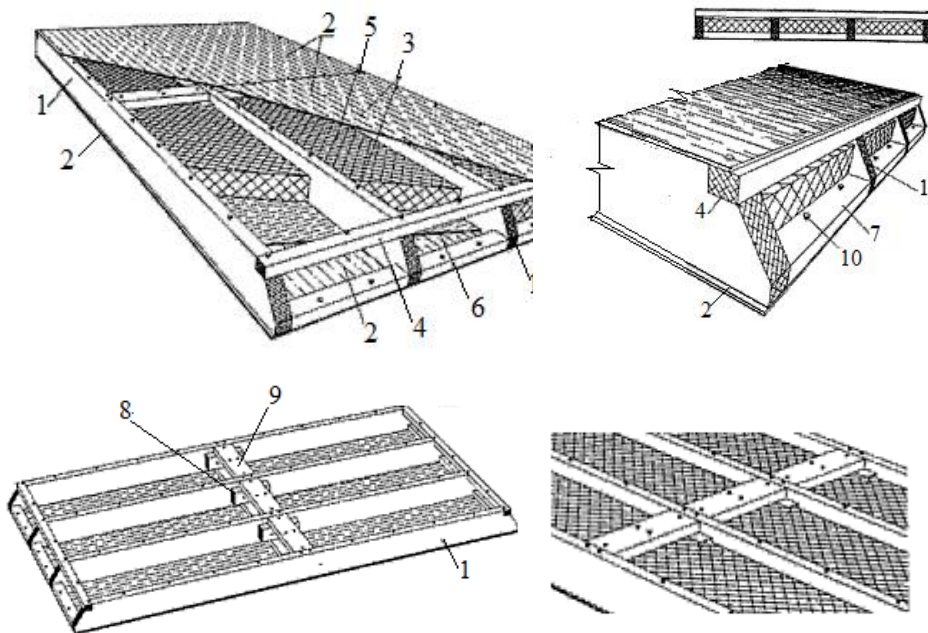


Рис. 1.2. Конструктивна схема плити покриття на дерев'яному каркасі з верхньою і нижньою обшивками із OSB чи ЦСП:

1 – поздовжні несучі ребра з пиломатеріалів або клеєної деревини; 2 – обшивка з OSB або ЦСП; 3 – шурупи для кріплення обшивки; 4 – брусоч; 5 – утеплювач; 6 – пароізоляція; 7 – розподільна дошка; 8 – прокладка (брусоч); 9 – накладка для з'єднання; 10 – цвяхи або гвинти для кріплення плити до несучої конструкції.

В плитах з обшивками із ЦСП, ДВП чи OSB з'єднання з ребрами виконують, як правило, на механічних в'язях (цвяхи, шурупи, скоби). Крок поздовжніх ребер визначають за розрахунком. Поперечні ребра встановлюють по торцях плити і під стиком обшивок.

Верхню обшивку плити перевіряють на міцність і жорсткість матеріалу в поперечному перерізі, як трьохпролітну плиту, за дії власної ваги, ваги покрівлі і снігового навантаження, а також додатково – на дію зосередженого короткочасного монтажного

навантаження  $F=1$  кН при розрахунковій ширині верхньої обшивки плити 1000 мм у відповідності з правилами підрозділу 11.3 [1]. Нижню обшивку перевіряють, як трьохпролітну плиту, за дії власної ваги і ваги утеплювача. Повздовжні суцільні ребра розраховуються, як однопролітні або двопролітні балки, а повздовжні ребра з вентиляційними отворами розраховуються, як балки з короткими прокладками на жорстких в'язях. Максимальний прогин азбестоцементних листів від характеристичного значення рівномірно розподіленого навантаження не повинен перевищувати  $1/400$  відстані між осями повздовжніх ребер. Максимальний прогин повздовжніх ребер від характеристичного значення навантаження не повинен перевищувати  $1/250$  їх розрахункового прольоту.

## **2. Конструювання та розрахунок ребристої плити з фанерними обшивками**

Запроектувати ребристу плиту з фанерними обшивками під рулону малопохилу покрівлю. Крок несучих конструкцій  $B=5$  м, утеплювач щільністю  $\rho=100$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною  $\delta_h=140$  мм. Клас експлуатації будівлі 1, клас наслідків (відповідальності) СС2, сніговий район – 4.

Матеріал ребер – деревина хвойних порід класом міцності С27. Матеріал обшивок – фанера типу F60/10 E90/10.

### **2.1. Конструктивні рішення.**

Приймаємо ребристу плиту номінальними розмірами 1500x5000 мм (конструктивні розміри 1490x4980 мм), рис. 1.3. Кількість поздовжніх ребер 4.

Попередню висоту перерізу плити визначаємо з виразу

$$h = \frac{1}{30} l_d = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ см}.$$

Розмір поперечного перерізу повздовжніх ребер приймаємо, виходячи із сортаменту пиломатеріалів у відповідності з даними таблиці Е.1 додатку Е [1].

Попередньо для ребер приймаємо пиломатеріал поперечним перерізом 50x175 мм. Після стругання висота і ширина поперечного перерізу ребра становитиме:

$$h_w = 175 - 2 \cdot 3 = 169 \text{ мм} \text{ і } b_w = 50 - 2 \cdot 2 = 44 \text{ мм}.$$

Для забезпечення спільної роботи плити під час експлуатації до крайніх ребер приклеюють стикові бруски, висота перерізу яких

приймається рівною половині висоти перерізу повздовжніх ребер. Поперечні ребра встановлюються в торцях плити та в прольоті в місцях стикування фанерних листів по довжині на «вус».

Відстань між повздовжніми ребрами в прольоті визначається з виразу:

$$b_{ef} = (b - 5b_w) / 3 = (1490 - 5 \cdot 46) / 3 = 420 \text{ мм}.$$

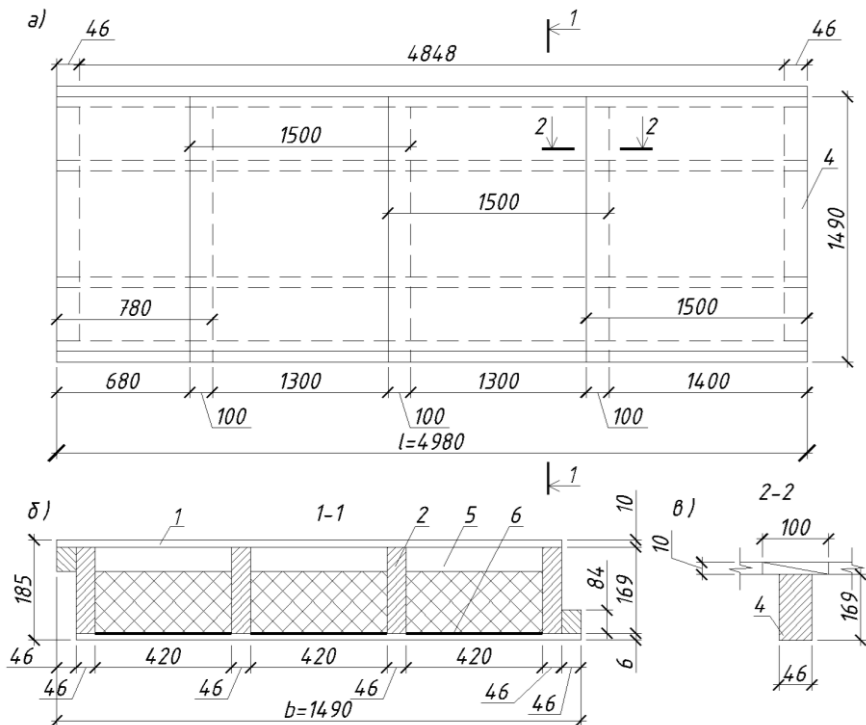


Рис. 1.3. Схема ребристої фанерної плити:

а) – план плити; б) – поперечний розріз плити; в) – стик фанерної обшивки на «вус»;

- 1 – верхня фанерна обшивка; 2 – повздовжнє ребро; 3 – брус для з'єднання;  
4 – вкладиш; 5 – утеплювач; 6 – пароізоляція; 7 – нижня фанерна обшивка.

При визначенні навантаження на плиту вага поперечних ребер приймається орієнтовно 30% від ваги повздовжніх ребер. Для верхньої обшивки приймаємо фанеру товщиною 10 мм, а для нижньої – 6 мм.



Висота перерізу плити буде рівна  $h_n=169+10+6=185$  мм. Конструкція плити приведена на рис. 1.3.

Визначення навантаження на покриття проводимо в табличній формі.

**Таблиця 1 – Навантаження на панель,  $\text{кН/м}^2$ .**

№ п/п	Вид навантаження	Характеристичне навантаження $g$ , $\text{К/м}^2$	Розрахункове навантаження			
			експлуатаційне		граничне	
			Коефіцієнт надійності $\gamma_{fe}$	$g_e$	Коефіцієнт надійності $\gamma_{fm}$	$g_m$
<b>Постійне навантаження</b>						
1	Рулонна покрівля	0,12	1,0	0,12	1,3	0,156
2	Фанерні обшивки $(h_{fe}+h_{fi})\times\gamma_1=(0,1+0,06)\times 6$	0,96	1,0	0,96	1,1	1,056
3	Повздожні ребра (з врахуванням стикових брусів) $(b_w+h_w)\times\gamma_2=(0,046\times 0,169)\times 4,5\times 5$	0,175	1,0	0,175	1,1	0,1925
4	Поперечні ребра $0,3\times 0,175$	0,053	1,0	0,053	1,1	0,058
5	Утеплювач $(b_h \cdot h_w) \cdot b_f \times 3=0,14\times 1,0\times 0,42\times 3$	0,176	1,0	0,176	1,3	0,229
6	Пароізоляція $t_2 \cdot b_f \cdot 3=0,01\times 0,42\times 3$	0,0126	1,0	0,0126	1,3	0,0164
<b>Всього:</b>				<b>1,497</b>		<b>1,708</b>
<p>Примітка:</p> <p><math>t_1=0,12 \text{ кг/м}^2</math> – вага трьохшарової рулонної покрівлі;</p> <p><math>\gamma_1=6 \text{ кН/м}^3</math> – питома вага фанери;</p> <p><math>\gamma_2=4,5 \text{ кН/м}^3</math> – питома вага деревини ребер;</p> <p><math>\gamma_3=1 \text{ кН/м}^3</math> – питома утеплювача;</p> <p><math>t_2=0,01 \text{ кг/м}^3</math> – вага пароізоляції;</p> <p><math>b_f=420 \text{ мм}</math> – відстань в просвіті між повздожніми ребрами.</p>						

Розрахункове характеристичне погонне навантаження на плиту визначають із виразу:

$$q_m = g_m \cdot b = 1,708 \cdot 1,5 = 2,562 \text{ кН / м}$$

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = 1,14 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,596 \text{ кН / м}^2,$$

де  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаженням, що визначається згідно з п. 8.11 ДБН В.1.2-2:2006;

$S_0$  – характеристичне значення снігового навантаження, що визначається згідно з п. 8.5 ДБН В.1.2-2:2006;

$C$  – коефіцієнт, що визначається за виразом:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

де  $\mu=1$  – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, який визначається за 8.7, 8.8 ДБН В.1.2-2:2006 (при кутах нахилу до  $25^\circ$ );

$C_e$  – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі і визначається за 8.9 ДБН В.1.2-2:2006;

$C_{alt}$  – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за 8.10 ДБН В.1.2-2:2006.

Характеристичне значення снігового погонного навантаження на плиту становитиме:

$$q_{m,s} = S_m \cdot b = 1,596 \cdot 1,5 = 2,394 \text{ кН / м},$$

де  $b=1500 \text{ мм}$  – номінальна ширина плити.

## 2.2. Визначення зусиль в плиті від зовнішніх факторів

Визначення зусиль в плиті – згинаючого моменту та поперечної сили – виконують, як для однопролітної шарнірно обпертої балки за дії постійного і снігового навантаження. Розрахунковий проліт плити приймають рівним

$$l_d = 0,99 \cdot l = 0,99 \cdot 4,98 = 4,93 \text{ м}.$$

Розрахункові значення згинаючого моменту:

$$M_{E,d} = k_{FI} \cdot (q_m + q_{m,s}) \cdot \frac{l_d^2}{8} = 1 \cdot (2,562 + 2,394) \cdot \frac{4,93^2}{8} = 15,06 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Розрахункові значення поперечної сили:

$$V_{E,d} = k_{Fl} \cdot (q_m + q_{m,s}) \cdot \frac{l_d}{2} = 1 \cdot (2,562 + 2,394) \cdot \frac{4,93}{2} = 12,22 \text{ кН} .$$

### 2.3. Визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу

Розрахункову  $b_{f,c}$  ширину поперечного перерізу верхньої обшивки приймають з врахуванням нерівномірного розподілення напружень по ширині перерізу і забезпечення його стійкості та розраховують за виразом:

$$b_{f,c} = \sum b_{ef} = 2b_{c,ef} + 2 \cdot 0,5b_{c,ef} + 4b_w = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 0,5 \cdot 20 + 4 \cdot 4,6 = 78,6 \text{ см} ,$$

де  $b_{c,ef}$  – визначають за виразом:

$$b_{c,ef} = 20 \cdot h_f = 20 \cdot 1 = 20 \text{ см} .$$

Розрахункову ширину перерізу нижньої обшивки приймаємо рівною:

$$b_{f,d} = b_f = 149 \text{ см} ,$$

де  $b_f$  – фактична ширина перерізу нижньої обшивки.

У відповідності з сортаментом пиломатеріалів (табл. Е.1 Додаток Е [1]) приймаємо  $b = 175 \text{ мм}$ , де з врахуванням бокової обробки ширина  $b = 175 - 2 \cdot 3 = 169 \text{ мм}$  (рис. 1.3).

Визначають положення нейтральної осі перерізу (рис. 1.3 б) відносно верхньої грані плити за виразом:

$$y_0 = \frac{S_{e,f}}{A_{e,f}} ,$$

де  $S_{e,f}$  – статичний момент перерізу плити відносно верхньої грані, що визначається з врахуванням різних властивостей ребер і обшивок;  $F_{e,f}$  – площа перерізу плити, що визначається з врахуванням різних властивостей ребер і обшивок.

Визначаємо значення:

$$\begin{aligned} S_{e,f} &= S_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot S_w = 78,6 \cdot 1,0 \cdot 0,5 + \\ &+ 149 \cdot 0,6 \cdot (18,5 - 0,3) + \frac{11000}{9000} \cdot 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 \cdot \left( \frac{169}{2} + 1,0 \right) = 5251,3 \text{ см}^3 \\ A_{e,f} &= A_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot A_w = 78,6 \cdot 1,0 + 149 \cdot 0,6 + \frac{11000}{9000} \cdot 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 = 547,3 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

$$y_0 = \frac{5251,3}{547,3} = 9,59 \text{ см},$$

тут  $E_{w,mean} = 11000 \text{ Н/мм}^2$  – середнє значення модуля пружності деревини ребер класу міцності С27, приймаємо з табл. Б.1 додаток Б [1];

$E_{f,mean} = 9000 \text{ Н/мм}^2$  – середнє значення модуля пружності фанери класу F60/10E90/10 обшивок, приймається з табл. Б.6 Додаток Б [1];

$b_{f,c} = 78,6 \text{ см}$  – розрахункова ширина перерізу верхньої обшивки плити;

$b_{f,t} = 149 \text{ см}$  – розрахункова ширина перерізу нижньої обшивки плити.

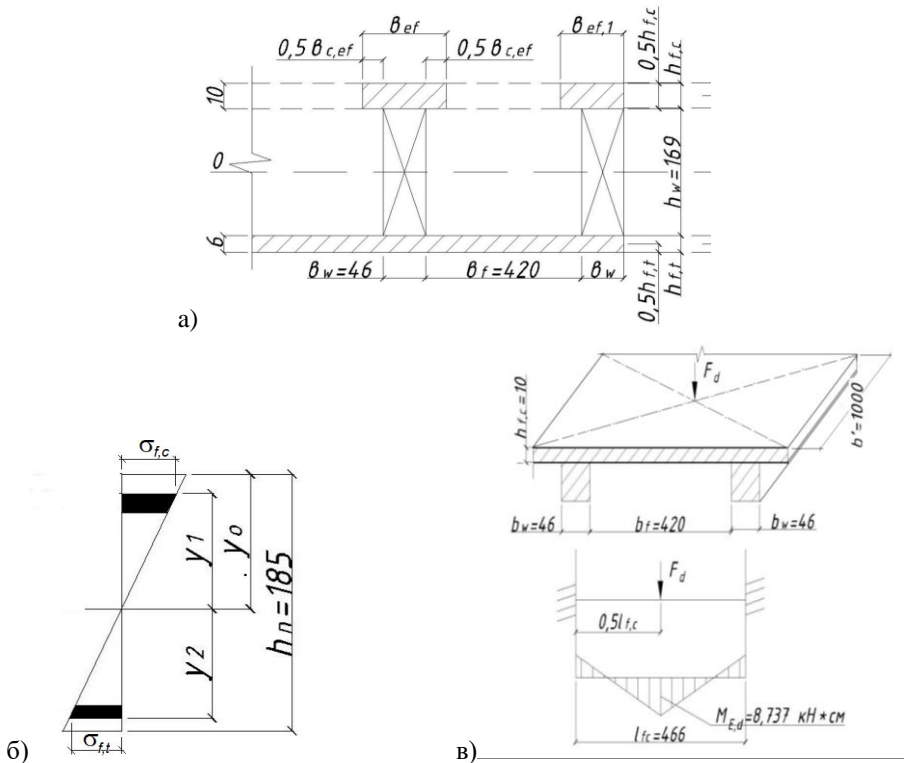


Рис. 1.4. Схема розрахункових перерізів ребристої плити:

- а) – розрахунковий переріз плити; б) – розподілення нормальних напружень в середній площині обшивки; в) – розрахункова схема верхньої обшивки на монтажне навантаження.

Визначаємо положення нейтральної осі відносно нижньої грані плити:

$$Y_0^* = h_n - y_0 = 18,5 - 9,59 = 8,91 \text{ см.}$$

Відстань від нейтральної осі перерізу до середини товщини верхньої обшивки

$$Y_1 = Y_0 - h_{f,c} / 2 = 9,59 - 1 / 2 = 9,09 \text{ см.}$$

Відстань від нейтральної осі перерізу до середини товщини нижньої обшивки:

$$Y_2 = h_0 - y_0 - h_{f,t} / 2 = 18,5 - 9,59 - 0,6 / 2 = 8,61 \text{ см.}$$

У відповідності з виразом (11.31) [1] визначаємо момент інерції перерізу плити відносно нейтральної осі для миттєвого стану (inst) після безпосереднього прикладання навантажень:

$$I_{ef,inst} = I_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot I_w,$$

де  $I_f$  – момент інерції перерізу обшивок відносно нейтральної осі;

$I_w$  – момент інерції перерізу ребер відносно нейтральної осі;

$$I_f = \frac{b_{f,c}^3}{12} + b_{f,c} \cdot h_{f,c} \cdot Y_1^2 + \frac{b_{f,c} \cdot h_{f,c}^3}{12} + h_{f,c} \cdot Y_2^2 =$$

$$= \frac{78,6 \cdot 1^3}{12} + 78,6 \cdot 1 \cdot 9,09^2 + \frac{149 \cdot 0,6^3}{12} + 149 \cdot 0,6 \cdot 8,61^2 = 13130 \text{ см}^4$$

$$I_w = 4 \cdot \left( b_w \cdot \frac{h_w}{12} + b_w \cdot h_w \cdot z^2 \right) = 4 \cdot \left( 4,6 \cdot \frac{16,9^3}{12} + 4,6 \cdot 16,9 \cdot 0,14^2 \right) = 7407 \text{ см}^4,$$

тут  $z = y_0 - h_{f,c} - \frac{h_w}{2} = 9,59 - 1,0 - \frac{16,9}{2} = 0,14 \text{ см}$  – відстань між нейтральною віссю перерізу плити і геометричною віссю перерізу ребер.

$$\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} = \frac{11000 \text{ Н / мм}}{9000 \text{ Н / мм}} = 1,22;$$

$$I_{ef,inst} = 13130 + 1,22 \cdot 7407 = 22166 \text{ см}^4.$$

#### 2.4. Перевірка плити за граничним станом несучої здатності

При перевірці осевих напружень в обшивках у відповідності з правилами підрозділу 11.3 [1] мають виконуватися умови:

$$\sigma_{f,inst,c,d} \leq f_{f,c,d};$$

$$\sigma_{f,inst,t,d} \leq f_{f,t,d},$$

де  $\sigma_{f,inst,c,d}$  та  $\sigma_{f,inst,t,d}$  – середнє розрахункове значення напруження стиску у верхній обшивці і розтягу в нижній обшивці без врахування тривалості дії навантаження;

$f_{f,c,d}$  і  $f_{f,t,d}$  – розрахункове значення міцності на стиск верхньої і розтягу нижньої обшивки.

Визначаємо середнє розрахункове значення напружень в обшивках плити:

$$\sigma_{f,inst,c,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot Y_1 = \frac{1506}{22166} \cdot 9,09 = 0,618 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 6,18 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma_{f,inst,t,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot Y_2 = \frac{1506}{22166} \cdot 8,61 = 0,585 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 5,85 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Розрахункове значення міцності фанери обшивок з фанери на стиск і розтяг визначаються за виразами (11.47) і (11.48) згідно [1]:

$$f_{f,c,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,c,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 26}{1,2} = 17,33 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$f_{f,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,t,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 36}{1,2} = 24 \frac{H}{\text{мм}^2},$$

де  $k_{mod}=0,8$  – коефіцієнт модифікації фанери для класу експлуатації 1, приймається з табл. А.1 Додаток А [1];

$\gamma_M=1,2$  – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається з табл. 6.1 [1];

$k_{sys}=1$  – коефіцієнт міцності системи, приймається відповідно до п.11.5 [1];

$f_{f,c,k}=26 \text{ Н/мм}^2$  – характеристичне значення міцності фанери F60/10 E90/10 стиску, приймається з табл. Б.6 Додаток Б [1];

$f_{f,t,k}=36 \text{ Н/мм}^2$  – характеристичне значення міцності фанери F60/10 E90/10 розтягу, приймається з табл. Б.6 Додаток Б [1].

В результаті розрахунку виконують перевірку умов:

$$\sigma_{f,inst,c,d} = 6,18 \text{ Н/мм}^2 < f_{f,c,d} = 17,33 \text{ Н/мм}^2 \text{ – умова виконується;}$$

$$\sigma_{f,inst,t,d} = 5,85 \text{ Н/мм}^2 < f_{f,t,d} = 24 \text{ Н/мм}^2 \text{ – умова виконується.}$$

Відповідно, міцність матеріалу обшивок плити в нормальних перерізах забезпечена.

## 2.5. Перевірка напружень в нормальних перерізах ребер плити

Відповідно до вимог підрозділу 11.3 [1] нормальні напруження в перерізах ребер плити повинні задовольняти наступні умови:

$$\sigma_{w,inst,c,d} \leq f_{w,c,d} ;$$

$$\sigma_{w,inst,t,d} \leq f_{w,t,d} ;$$

де  $\sigma_{w,inst,c,d}$  і  $\sigma_{w,inst,t,d}$  – розрахункове значення напруження стиску і розтягу в поперечному перерізі ребер;

$f_{w,c,d}$  і  $f_{w,t,d}$  – розрахункове значення міцності деревини ребер на стиск і розтяг вздовж волокон відповідно, визначають за формулою (11.47 та 11.48) [1].

Розподілення значення напружень в перерізах ребер визначають за виразом:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,inst,c,d} &= \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot (Y_1 - 0,5 \cdot h_{f,c}) \cdot \left( \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) = \\ &= \frac{1506}{22166} \cdot (9,09 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left( \frac{11000}{9000} \right) = 0,712 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 7,12 \frac{H}{\text{мм}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{w,inst,t,d} &= \frac{M_{E,d}}{I_{ef,inst}} \cdot (Y_2 - 0,5 \cdot h_{f,t}) \cdot \left( \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) = \\ &= \frac{1506}{22166} \cdot (8,61 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left( \frac{11000}{9000} \right) = 0,672 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 6,72 \frac{H}{\text{мм}^2} \end{aligned}$$

Розрахункове значення міцності деревини ребер визначають за виразом:

$$f_{f,c,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,c,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 22}{1,3} = 13,53 \frac{H}{\text{мм}^2} ;$$

$$f_{f,t,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{f,t,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 1 \cdot 16}{1,3} = 9,85 \frac{H}{\text{мм}^2} ;$$

де  $k_{mod}=0,8$  – коефіцієнт модифікації фанери для класу експлуатації 1, приймається з табл. А.1 Додаток А [1];

$\gamma_M=1,3$  – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається з табл. 6.1 [1];

$k_{sys}=1$  – коефіцієнт міцності системи, приймається відповідно до п.11.5 [1];

$f_{w,c,k}=22 \text{ Н/мм}^2$  – характеристичне значення міцності деревини на стиск для класу міцності С27, приймається з табл. Б.1 Додаток Б [1];

$f_{f,t,k}=16 \text{ Н/мм}^2$  – характеристичне значення міцності деревини на розтяг для класу міцності С27, приймається з табл. Б.1 Додаток Б [1].

Виконуємо перевірку умов:

$$\sigma_{w,inst,c,d} = 7,12 \text{ Н/мм}^2 < f_{w,c,d} = 13,53 \text{ Н/мм}^2 \text{ – умова виконується;}$$

$$\sigma_{f,inst,d} = 6,72 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,t,d} = 9,85 \text{ Н / мм}^2 - \text{умова виконується.}$$

Відповідно, міцність поздовжніх ребер плити при згині забезпечено.

## 2.6. Перевірка несучої здатності плити з врахуванням повзучості її матеріалів

Особливістю ребристої плити, що розглядаємо є різні значення коефіцієнтів  $k_{def}$  повзучості деревини (ребер) і обшивок (фанери).

Так, для деревини поздовжніх ребер  $k_{def}=0,6$ , а для фанерних обшивок  $k_{def}=0,8$  (див. табл. А.2 Додаток А [1]). В результаті тривалої дії навантаження буде відбуватися перерозподілення нормальних напружень: в обшивці вони будуть зменшуватися, а в ребрах навпаки – збільшуватися. Тому, необхідно виконати перевірку напруженого стану плити з врахуванням тривалості дії навантаження.

У відповідності до вимог підрозділу 11.3 [1], визначаємо момент інерції перерізу плити відносно нейтральної осі для кінцевого стану, використовуючи формулу (11.33) [1].

$$I_{ef,fin} = I_f + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot \left( \frac{1 + \psi_2 \cdot k_{def,f}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def,w}} \right) \cdot I_w =$$

$$= 13130 + \frac{11000}{9000} \cdot \left( \frac{1 + 1 \cdot 0,8}{1 + 1 \cdot 0,6} \right) \cdot 7407 = 23296 \text{ см}^4$$

де  $\psi_2=1$  – коефіцієнт квазіпостійної величини навантаження, що викликає найбільші напруження відносно міцності (якщо така дія буде постійною, то  $\psi_2=1$ , п.4.18 [2]);

$k_{def,f}=0,8$  – коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу, значення якого для фанери приймають з табл. А.2 Додаток А [1];

$k_{def,w}=0,6$  – коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу, значення якого для деревини приймають з табл. А.2 Додаток А [1].

Визначають положення нейтральної осі відносно верхньої грані перерізу плити з врахуванням повзучості матеріалів плити і тривалістю дії навантаження, використовуючи вираз:

$$Y_{o,fin} = \frac{S_{ef,fin}}{A_{ef,fin}},$$

тут



$$S_{ef,fin} = S_f + \left( \frac{E_{w,mean}}{1+k_{def,w}} : \frac{E_{w,mean}}{1+k_{def,f}} \right) \cdot S_w = 78,6 \cdot 1 \cdot 0,5 + 149 \cdot 0,6 \cdot (18,5 - 0,3) +$$

$$+ \left( \frac{11000}{1+0,6} : \frac{9000}{1+0,8} \right) \times 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 \left( \frac{16,9}{2} + 1 \right) = 5706,8 \text{ см}^3,$$

$$A_{ef,fin} = A_f + \left( \frac{E_{w,mean}}{1+k_{def,w}} : \frac{E_{w,mean}}{1+k_{def,f}} \right) \cdot A_w = 78,6 \cdot 1 \cdot 0,5 + 149 \cdot 0,6 \cdot \left( \frac{11000}{1+0,6} : \frac{9000}{1+0,8} \right) \times$$

$$\times 4 \cdot 4,6 \cdot 16,9 = 595,6 \text{ см}^2,$$

$$Y_{o,fin} = \frac{5706,8}{595,6} = 9,58 \text{ см},$$

$$Y_{1,fin} = Y_{o,fin} - h_{f,c} / 2 = 9,58 - 0,5 \cdot 1 = 9,08 \text{ см},$$

$$Y_{2,fin} = h_n - Y_{o,fin} - h_{f,d} / 2 = 18,5 - 9,58 - 0,5 \cdot 0,6 = 8,62 \text{ см}.$$

Тоді середнє розрахункове значення нормальних напружень в обшивках з врахуванням повзучості матеріалів плити будуть становити:

$$\sigma_{f,fin,c,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot Y_{1,fin} = \frac{1506}{23296} \cdot 9,08 = 0,587 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 5,87 \frac{H}{\text{мм}^2},$$

$$\sigma_{f,fin,t,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot Y_{2,fin} = \frac{1506}{23296} \cdot 8,62 = 0,557 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 5,57 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Виконуємо перевірку умов:

$$\sigma_{f,fin,c,d} = 5,87 \text{ H / мм}^2 < f_{f,c,d} = 17,33 \text{ H / мм}^2 - \text{умова виконується.}$$

$$\sigma_{f,fin,t,d} = 5,57 \text{ H / мм}^2 < f_{f,t,d} = 24,4 \text{ H / мм}^2 - \text{умова виконується.}$$

## 2.7. Перевірка ребер плити за граничними станами несучої здатності з врахуванням повзучості

Визначаємо розрахункове значення в ребрах з врахуванням повзучості і тривалості дії навантаження, використовуючи вираз:

$$\sigma_{w,c,fin,d} = \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot (y_{1,fin} - 0,5 \cdot h_{f,c}) \cdot \left[ \frac{E_{w,mean} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f})}{E_{f,mean} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,w})} \right] =$$

$$= \frac{1506}{23190} \cdot (9,08 - 0,5 \cdot 1) \cdot \left[ \frac{11000 \cdot (1 + 0,8)}{9000 \cdot (1 + 0,6)} \right] = 0,766 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 7,66 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$\begin{aligned}\sigma_{w,f,fin,d} &= \frac{M_{E,d}}{I_{ef,fin}} \cdot (y_{2,fin} - 0,5 \cdot h_{f,t}) \cdot \left[ \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f}) \right] = \\ &= \frac{1506}{23190} \cdot (8,62 - 0,5 \cdot 0,6) \cdot \left[ \frac{11000 \cdot (1 + 0,8)}{9000 \cdot (1 + 0,6)} \right] = 0,743 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 7,43 \frac{H}{\text{мм}^2}.\end{aligned}$$

Виконуємо перевірку умов:

$$\sigma_{w,fin,c,d} = 7,66 \text{ H / мм}^2 < f_{w,c,d} = 13,53 \text{ H / мм}^2 \text{ – умова виконується.}$$

$$\sigma_{w,fin,t,d} = 7,43 \text{ H / мм}^2 < f_{w,t,d} = 9,85 \text{ H / мм}^2 \text{ – умова виконується.}$$

## 2.8. Перевірка клеєних з'єднань обшивок з поздовжніми ребрами на зсув

Перевірка клеєних з'єднань обшивок з поздовжніми ребрами на зсув виконують за формулою (11.52) [1]:

$$\tau_{v,mean,d} \leq f_{f,90,d},$$

де  $\tau_{v,mean,d}$  – середнє значення напружень зсуву в клеєних з'єднаннях обшивок з ребрами;

$f_{f,90,d}$  – розрахункове значення міцності матеріалу обшивок при сколюванні.

Середнє значення напружень зсуву  $\tau_{v,mean,d}$  визначають за формулою:

$$\tau_{v,mean,d} = \frac{V_{E,d} \cdot S_t}{I_{ef} \cdot \sum b_w},$$

де  $V_{E,d}$  – розрахункове значення зусилля зсуву від силових впливів;  
 $S_t$  – статичний момент перерізу обшивки відносно нейтральної осі (найбільше значення перерізу стиснутої або розтягнутої обшивки);  
 $\sum b_w$  – сумарна ширина перерізу усіх ребер.

Статичний момент перерізу верхньої обшивки буде становити:

$$S_t = b_{f,c} \cdot h_{f,c} \cdot y_1 = 78,6 \cdot 1 \cdot 9,09 = 714,47 \text{ см}^3,$$

$$\sum b_w = 4 \cdot 4,6 = 18,6 \text{ см}^2.$$

Тоді:

$$\tau_{v,mean,d} = \frac{11,5 \cdot 714,47}{22162 \cdot 18,6} = 0,0199 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} = 0,199 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Розрахункове значення міцності фанери обшивки на сколювання визначають відповідно п.11.2.11 [1]:

$$f_{f,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{f,90,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 2,5}{1,2} = 1,66 \frac{H}{\text{мм}^2},$$

де  $k_{\text{mod}}=0,8$  – коефіцієнт модифікації фанери для класу експлуатації 1, приймається з табл. А.1 Додаток А [1];

$k_{\text{sys}}=1$  – коефіцієнт міцності системи, приймається відповідно до п.11.5 [1];

$f_{f,90,k}=2,5 \text{ Н/мм}^2$  – характеристичне значення міцності фанери класу F60/10E90/10 на сколювання обшивок, приймається з табл. Б.6 Додаток Б [1];

$\gamma_m=1,2$  – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається з табл. 6.1 [1].

Виконуємо перевірку умови:

$$\tau_{v,mean,d} = 0,199 \frac{H}{\text{мм}^2} < f_{f,90,d} = 1,66 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Граничний стан несучої здатності плити на зсув по клеєним з'єднанням обшивки з поздовжніми ребрами забезпечується.

## 2.9. Перевірка верхньої обшивки на дію зосередженого монтажного навантаження

Перевірку верхньої обшивки на дію зосередженого монтажного навантаження попередньо визначаємо за виразом:

$$F_d = F_k \cdot \gamma_F = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ кН}.$$

Нормальні напруження згину повинні задовольняти умову у відповідності з (11.27) [1]:

$$\sigma_{f,m,d} \leq f_{f,m,d},$$

де  $f_{f,m,d}$  – розрахункове значення міцності матеріалу обшивки при згині.

$$\sigma_{f,m,d} = \frac{M_{E,d}}{W_{f,d}} = \frac{8,737}{16,6} = 0,526 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = 5,26 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$\text{тут } M_{E,d} = \frac{F_d \cdot (b_f + b_w)}{8} = \frac{1,5 \cdot (42 + 4,6)}{8} = 8,737 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

$$W_{f,d} = \frac{b \cdot h_{f,c}^2}{6} = \frac{100 \cdot 1,0^2}{6} = 16,6 \text{ см}^3.$$

Розрахункове значення міцності матеріалу обшивки при згині визначають з виразу:

$$f_{f,m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{f,m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,0 \cdot 10}{1,2} = 7,5 \frac{H}{\text{мм}^2},$$

де  $k_{\text{mod}}=0,8$  – коефіцієнт модифікації фанери для класу експлуатації 1, приймається з табл. А.1 Додаток А [1];

$k_{\text{sys}}=1$  – коефіцієнт міцності системи, приймається відповідно до п.11.5 [1];

$f_{f,m,k}$  – характеристичне значення міцності фанери класу F60/10E90/10 на згин обшивок, приймається з табл. Б.6 Додаток Б [1];

$\gamma_M=1,2$  – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається з табл. 6.1 [1].

Виконуємо перевірку умови:

$$\sigma_{f,m,d} = 5,26 \text{ Н / мм}^2 < f_{f,m,d} = 7,5 \text{ Н / мм}^2 \text{ – умова виконується.}$$

Міцність на згин верхньої обшивки від дії монтажного навантаження забезпечено.

## 2.10. Перевірка плити за граничним станом експлуатаційної придатності

Перевірку плити за граничним станом експлуатаційної придатності виконую на виконання умови:

$$w_{E,d} \leq w_{C,d},$$

де  $w_{E,d}$  – розрахункове значення прогину плити;

$w_{C,d}$  – гранично допустиме значення прогину.

Розрахункове значення прогину для початкового стану при миттєвому прикладенні навантаження визначають за виразом:

$$w_{\text{inst}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (q_e + q_{e,s}) \cdot l_d^4}{E_{f,\text{mean}} \cdot I_{ef,\text{inst}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1 \cdot (0,02246 + 0,01029) \cdot 493^4}{900 \cdot 22166} = 0,866 + 0,397 = 1,3 \text{ см}$$

де  $q_e$  – розрахункове експлуатаційне погонне навантаження на плиту визначають із виразу:

$$q_e = g_e \cdot b = 1,497 \cdot 1,5 = 2,246 \text{ кН / м.}$$

Експлуатаційне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою:

$$S_e = \gamma_{fe} S_0 C = 0,49 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,686 \text{ кН / м}^2,$$

де  $\gamma_{fe}$  – коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаженням, що визначається згідно з п. 8.12 ДБН В.1.2-2:2006;

$S_0$  – характеристичне значення снігового навантаження, що визначається згідно з п. 8.5 ДБН В.1.2-2:2006;

$C$  – коефіцієнт, що визначається за виразом:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

де  $\mu=1$  – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, який визначається за 8.7, 8.8 ДБН В.1.2-2:2006 (при кутах нахилу до  $25^\circ$ );

$C_e$  – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі і визначається за 8.9 ДБН В.1.2-2:2006;

$C_{alt}$  – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за 8.10 ДБН В.1.2-2:2006.

Експлуатаційне значення снігового погонного навантаження на плиту становитиме:

$$q_{e,s} = S_e \cdot b = 0,686 \cdot 1,5 = 1,029 \text{ кН/м},$$

де  $b=1,5 \text{ м}$  – номінальна ширина плити.

Розрахункове значення прогину з врахуванням повзучості матеріалів плити при постійному навантаженні визначають з виразу:

$$w_{fm,q} = w_{inst,q} \cdot (1 + k_{def,f}) = 0,866 \cdot (1 + 0,8) = 1,559 \text{ см}.$$

Розрахункове значення прогину з врахуванням повзучості матеріалів плити від дії снігового навантаження визначають з виразу:

$$w_{fm,s} = w_{inst,s} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def,f}) = 0,397 \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 0,397 \text{ см},$$

де  $k_{def,f}=0,8$  – коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу, значення якого для фанери приймають з табл. А.2 Додаток А [1];

$\psi_2=0$  – коефіцієнт для практично постійного впливу (снігового навантаження).

Визначають повне значення прогину плити

$$w_{E,d} = w_{fm,q} + u_{fm,s} = 1,559 + 0,397 = 1,956 \text{ см}.$$

Перевіряємо умову

$$w_{E,d} = 1,956 \text{ см} < \frac{1}{200} \cdot l_d = \frac{1}{200} \cdot 493 = 2,46 \text{ см} \text{ – умова виконується.}$$

Таким чином, за конструйована плита задовольняє вимоги граничним станам несучої здатності і експлуатаційної придатності.

## Література

1. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків та споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2018. 02.01]. Видання офіц. Київ : ДП Укрархбудінформ, 2011. 102с. (Нормативний документ Мінрегіонбуду України. Норми проектування.)
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007. 01.01]. Вид офіц. Київ : Сталь, 2006. 59 с. (Нормативний документ Мінбуду України. Норми проектування).
3. ДСТУ Б А.2.4-39:2008. Креслення будівельні. Правила виконання креслень дерев'яних конструкцій. [Чинний від 2010. 01.01]. Вид офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 10 с. (Інформація та документація).
4. Конструкції з деревини і пластмас / Погореляк А. П., Романюк В. В., Чернолоз В. С., Погореляк О. А. Рівне : РДТУ, 2001. 392 с.
5. Гомон С.С. Конструкції з дерева та пластмас : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2016. 219 с.
6. ДСТУ Б А.2.4-7:2009. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень [Чинний від 2018. 02.01]. Видання офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 78 с. (Нормативний документ Мінрегіонбуду України).