

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

з дисципліни:

Будівельні конструкції

для студентів спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання

ЦНТУ
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт

з дисципліни:

Будівельні конструкції

для студентів спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія"
усіх форм навчання

"Ухвалено"
на засіданні кафедри:
"Будівельних, дорожніх машин і будівництва"
Протокол № 1 від 18.08.2020 р.

ЦНТУ
2020

Будівельні конструкції : метод. вказ. до вик. практ. робіт для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. А. Настоящий, В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О. А. Плотніков, І. П. Заворуєва] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 31 с.

Рецензент:

В.В. Яцун – канд. техн. наук, доцент.

ЦНТУ 2020.

Мета практичних занять – навчити студентів методам розрахунку і конструювання елементів та з’єднань дерев’яних і пластмасових конструкцій, а також набути навички користування нормативною й довідковою літературою. На кожному занятті студенти вирішують типові задачі, що часто зустрічаються в проектній практиці, присвячені одному з видів елементів (розтягнуті, стиснуті, стиснуто-зігнуті, згинальні елементи) чи з’єднань (на нагелях, на врубках). Умови цих задач із прикладами їх розв’язання наведені у відповідних розділах даних методичних вказівок.

При вирішенні задач необхідно користуватися СНиП II-25-80, ДБН В.2.6-131:2010 і довідковими даними [2, 3] або іншими джерелами [4, 5]. У тексті методичних вказівок дані посилання на пункти, таблиці та формули [1], де наведені позначення всіх величин, що входять у формули. Нумерація формул, поданих далі, також відповідає [1].

Для більш глибокого розуміння роботи й методів розрахунку елементів і з’єднань металевих конструкцій варто вивчити підручник [3] та посібники [4, 5].

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМУ РОЗТЯЗІ ТА СТИСКУ

Центрально-розтягнуті елементи розраховуються на міцність відповідно до пункту 4.1 [1]. Перевірка міцності проводиться за формулою

$$s = \frac{N}{A_{нт}} \leq R_p. \quad (4)$$

При визначенні $A_{нт}$ ослаблення, що розташовані на ділянці довжиною до 200 мм, необхідно приймати суміщеними в одному перерізі.

Розрахунок центрально-стиснутих елементів постійного цілісного перерізу проводиться відповідно до п. 4.2 [1] за формулами:

а) на міцність

$$s = \frac{N}{A_{нт}} \leq R_c; \quad (5)$$

б) на стійкість

$$s = \frac{N}{j A_{\text{роз}}} \leq R_c. \quad (6)$$

Коефіцієнт поздовжнього згину φ визначається за формулами (7), або (8) [1] залежно від гнучкості λ

$$l = \frac{m_0 \mathbf{l}}{i h};$$

для прямокутного перерізу $i=0,289h$.

Позначення величин, що входять у формули, наведені в пунктах 4.1-4.5.

Задача 1.1. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів

Перевірити переріз нижнього поясу ферми із деревини дуба 2-го сорту, який послаблено двома рядами отворів для болтів $d=18$ мм, $N=160$ кН, переріз $b=150$ мм, $h=200$ мм, відстань $a=220$ мм. Умови експлуатації конструкції В-1, ступінь відповідальності споруди – III.

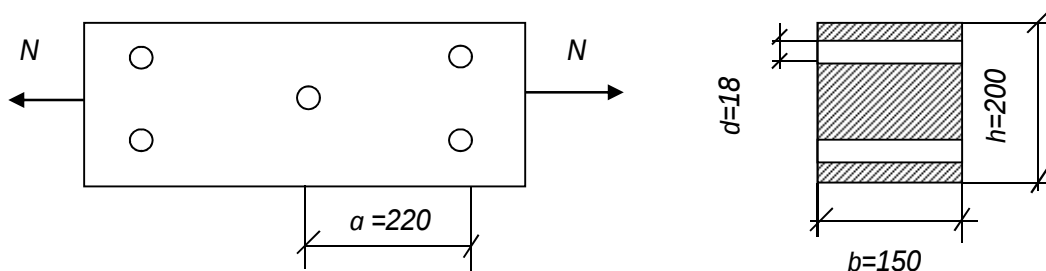


Рис. 1. Розрахункова схема центрально-розтягнутого елемента

Рішення

1. Розрахунковий опір розтягу деревини дуба 2- го сорту:

$$R_p = \frac{\overline{R_p} \cdot m_n \cdot m_\epsilon \cdot m_0}{g_n} = \frac{7 \cdot 1,3 \cdot 0,9 \cdot 0,8}{0,9} = 7,28 \text{ МПа} = 0,728 \text{ кН / см}^2,$$

де $\overline{R_p}$ – базовий розрахунковий опір деревини 2-го сорту розтягу (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для III го ступеню відповідальності споруди за [2];
- m_0 – для розтягнутих елементів з послабленнями в розрахунковому перерізі (п.3.2. и, [1]).

2. Визначаємо площу поперечного перерізу елемента нетто. Якщо відстань $a \geq 200$ мм, або не дана, то розрахункова площа перерізу нетто

$$A_{нт} = b \cdot h - 2 \cdot b \cdot d = 15 \cdot 20 - 2 \cdot 15 \cdot 1,8 = 246 \text{ см}^2.$$

(Якщо відстань $a < 200$ мм, послаблення приймаються суміщеними в одному перерізі та розрахункова площа поперечного перерізу нетто визначається за формулою $A_{нт} = b \cdot h - 3 \cdot b \cdot d$).

3. Перевірка нормальних напружень:

$$\sigma = \frac{N}{A_{нт}} = \frac{160}{246} = 0,650 \text{ кН / см}^2 < R_p = 0,728 \text{ кН / см}^2.$$

Міцність перерізу забезпечена.

Задача 1.2. Розрахунок центрально-стиснутих елементів

Перевірити переріз елементу верхнього поясу ферми із деревини ялини 2-го сорту, який послаблено двома рядами отворів для болтів $d=14$ мм, навантаження $N=300$ кН, розрахункова довжина $L=2,8$ м, переріз $b=125$ мм, $h=225$ мм. Умови експлуатації конструкції – А-3. Ступінь відповідальності споруди – II.

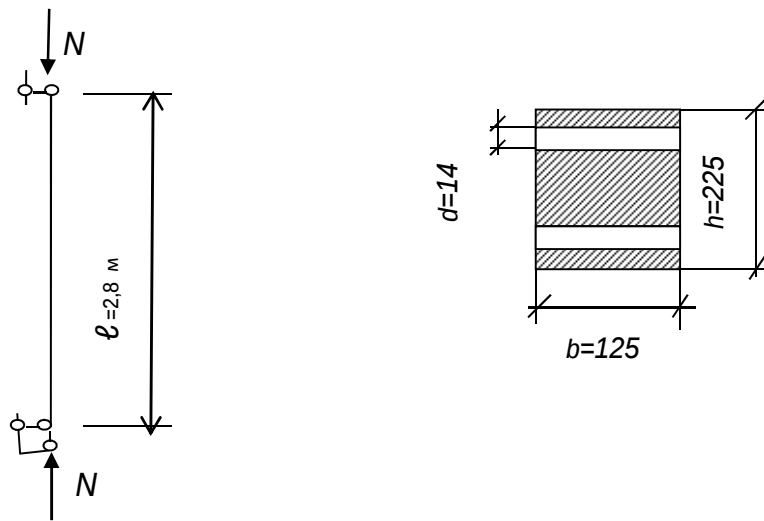


Рис. 2. Розрахункова схема центрально-стиснутого елемента

Рішення

1. Розрахунковий опір стиску деревини ялини 2-го сорту

$$R_c = \frac{\overline{R_c} \cdot m_n \cdot m_{\epsilon}}{g_n} = \frac{14 \cdot 1 \cdot 0,9}{0,95} = 13,3 \text{ МПа} = 1,33 \text{ кН / см}^2,$$

де $\overline{R_c}$ – базовий розрахунковий опір деревини 2-го сорту на стиск (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_θ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для II го ступеню відповідальності споруди за [2];

2. За формулою 9 [1] визначаємо гнучкість

$$l_x = \frac{m_0 l}{0,289 h} = \frac{1 \cdot 280}{0,289 \cdot 22,5} = 43,06.$$

3. Коефіцієнт поздовжнього згину визначаємо відповідно до п. 4.3 [1]. Якщо $\lambda \leq 70$, коефіцієнт поздовжнього згину визначаємо за формулою 7 [1]

$$j = 1 - 0,8 \left(\frac{l_x}{100} \right)^2 = 1 - 0,8 \left(\frac{43}{100} \right)^2 = 0,85.$$

4. Визначаємо розрахункову площу поперечного перерізу.

$$A_{\bar{p}} = b \cdot h = 12,5 \cdot 22,5 = 281,25 \text{ см}^2; \quad A_{ocл} = 2 \cdot d \cdot h = 2 \cdot 1,4 \cdot 22,5 = 63 \text{ см}^2 < 25\% A_{\bar{p}},$$

відповідно до п. 4.2 [1] $A_{poz} = A_{\bar{p}} = 281,25 \text{ см}^2$.

5. Виконуємо перевірку стійкості перерізу за формулою 6 [1]

$$s = \frac{N}{j A_{poz}} = \frac{300}{0,85 \cdot 281,25} = 1,25 \text{ кН / см}^2 < R_c = 1,33 \text{ кН / см}^2.$$

Міцність перерізу забезпечена.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЗГІНІ

Розрахунок згинальних елементів, забезпечених від втрати стійкості плоскої форми, деформування проводять на міцність за нормальними напруженням відповідно до п. 4.9 за формулою

$$s = \frac{M}{W_{роз}} \leq R_u. \quad (17)$$

Розрахунок міцності згинальних елементів на сколювання проводять відповідно до п.4.10 за формулою

$$t = \frac{QS}{I} \frac{\bar{\sigma}_p}{b_{роз}} \leq R_{ск}. \quad (18)$$

Перевірку жорсткості рекомендується виконувати за наближеною формулою, придатного для будь-якого виду навантаження

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{g^e l^3}{EI} + \frac{P^e l^2}{48EI} \leq \left[\frac{f}{l} \right].$$

Позначення всіх величин, що входять у формули, наведені в пунктах 4.9, 4.10, 4.32, 4.33 [1].

Задача 2.1. Перевірка перерізу згинального елемента

Перевірити переріз дерев'яної балки міжповерхового перекриття із деревини липи 2-го сорту, яка навантажена рівнорозподіленим навантаженням $q = 7$ кН/м, та зосередженим навантаженням посередині прогону $P = 0$ кН. Розрахунковий прогін $\ell = 4,8$ м, переріз балки $b = 125$ мм, $h = 275$ мм. Умови

експлуатації конструкції А-3. Ступінь відповідальності будівлі: II клас.
Коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{fm}=1,1$.

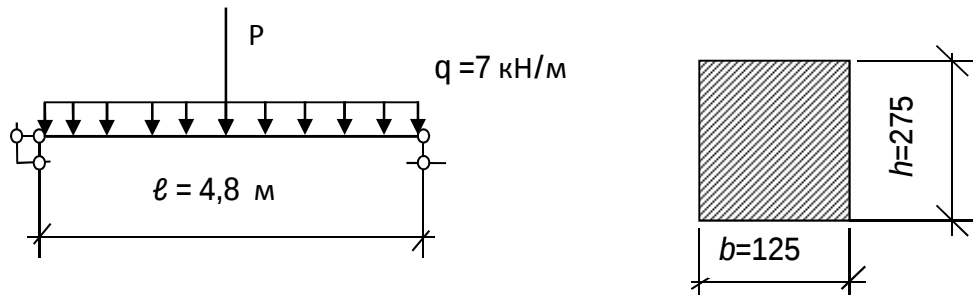


Рис. 3. Розрахункова схема елемента, що згинається

Рішення

1. Відповідно до заданої розрахункової схеми обчислюємо максимальне значення внутрішніх зусиль.

Розрахунковий згинальний момент

$$M = \frac{ql^2}{8} + \frac{Pl}{4} = \frac{7 \cdot 4,8^2}{8} + 0 = 20,16 \text{ кН} \cdot \text{м} = 2016 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Розрахункова поперечна сила

$$Q = \frac{gl}{2} + \frac{P}{2} = \frac{7 \cdot 4,8}{2} + 0 = 16,8 \text{ кН}.$$

2. Визначаємо геометричні характеристики перерізу.

$$W_{роз} = \frac{bh^2}{6} = \frac{12,5 \cdot 27,5^2}{6} = 1575 \text{ см}^3;$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{12,5 \cdot 27,5^3}{12} = 21663 \text{ см}^4.$$

3. Розрахунковий опір згину деревини липи 2-го сорту:

$$R_u = \frac{\overline{R_u} \cdot m_n \cdot m_\epsilon}{g_n} = \frac{14 \cdot 0,8 \cdot 0,9}{0,95} = 10,6 \text{ МПа} = 1,06 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\overline{R_u}$ – базовий розрахунковий опір стиску деревини 2-го сорту (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для II-го ступеню відповідальності споруди за [2].

Розрахунковий опір сколюванню деревини липи 2-го сорту:

$$R_{ск} = \frac{\overline{R_{ск}} \cdot m_n \cdot m_\epsilon}{g_n} = \frac{1,6 \cdot 0,8 \cdot 0,9}{0,95} = 1,21 \text{ МПа} = 0,12 \text{ кН} / \text{см}^2,$$

де $\overline{R_{ск}}$ – базовий розрахунковий опір сколюванню деревини 2-го сорту (т.3, п.5 [1]);

m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);

m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно-вологісний режим для умов експлуатації А-3 (т.5, [1]);

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням.

4. Виконуємо перевірку міцності:

За нормальними напруженнями

$$s = \frac{M}{W_{роз}} = \frac{2016}{1575} = 1,28 \text{ кН} / \text{см}^2 > R_u = 1,06 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

Міцність перерізу за нормальними напруженнями не забезпечена.

За дотичними напруженнями.

Для прямокутного перерізу

$$t_{\max} = \frac{3Q}{2bh} = \frac{3 \cdot 16,8}{2 \cdot 12,5 \cdot 27,5} = 0,073 \text{ кН / см}^2 < R_{\text{ск}} = 0,121 \text{ кН / см}^2.$$

Умова міцності перерізу по дотичним напруженням виконується.

5. Умова забезпечення нормативних прогинів.

Визначаємо експлуатаційні навантаження

$$q^e = \frac{q}{g_f} = \frac{7}{1,1} = 6,36 \text{ кН / м} = 0,064 \frac{\text{кН}}{\text{см}}; \quad P^e = \frac{P}{g_f} = 0 \text{ кН};$$

$$\text{Модуль пружності деревини (п. 3.5., [1]) } E = \frac{\bar{E} \cdot m_e}{g_n} = \frac{1000 \cdot 0,9}{0,95} = 947,4 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\bar{E} = 1000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ – базовий модуль пружності деревини.

Виконуємо перевірку жорсткості за формулою

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{g^e l^3}{EI} + \frac{P^e l^2}{48EI} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}; \text{ де } \left[\frac{f}{l} \right] - \text{ за табл.16 [1].}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot 0,064 \cdot 480^3}{384 \cdot 947,4 \cdot 21663} = 0,0044 = \frac{1}{227} > \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}.$$

Умова не виконується.

6. Висновки за результатами розрахунку. Переріз балки міжповерхового перекриття не задовольняє вимоги міцності та не задовольняє вимоги деформативності, експлуатація балки міжповерхового перекриття не допустима.

Задача 2.2. Підбір висоти елемента, що згинається

Підібрати висоту перерізу дерев'яної балки міжповерхового перекриття із деревини тополі 1-го сорту, яка навантажена рівнорозподіленим навантаженням $q^e = 4,0$ кН/м ; $q = 4,5$ кН/м; зосередженим навантаженням посередині прольоту $P^e = 2,8$ кН; $P = 3,3$ кН. Розрахунковий прогін $l = 3,2$ м. Переріз балки $b = 150$ мм , h – за сортаментом. Умови експлуатації конструкції А-2. Ступінь відповідальності будівлі III клас.

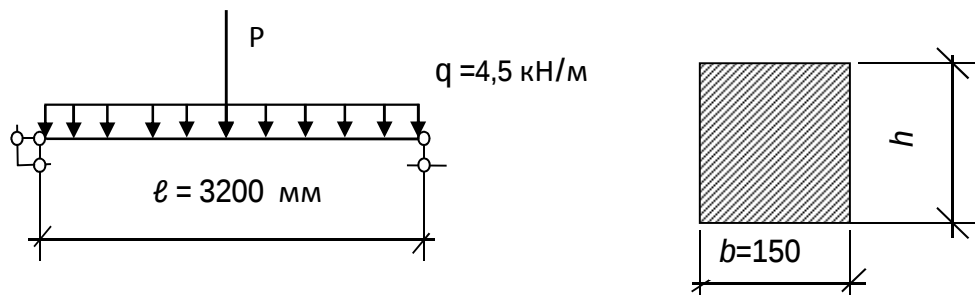


Рис. 4. Розрахункова схема елемента, що згинається при підборі висоти перерізу

Рішення

1. Розрахунковий опір згину деревини тополі 1-го сорту:

$$R_u = \frac{\overline{R_u} \cdot m_n \cdot m_s}{g_n} = \frac{16 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,9} = 14,2 \text{ МПа} = 14,2 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\overline{R_u}$ – базовий розрахунковий опір стиску деревини 1-го сорту (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_e – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для III-го ступеню відповідальності споруди за [2].

Розрахунковий опір сколюванню деревини тополі 1-го сорту:

$$R_{ск} = \frac{\overline{R_{ск}} \cdot m_n \cdot m_e}{g_n} = \frac{1,8 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,9} = 1,6 \text{ МПа} = 0,16 \text{ кН / см}^2,$$

де $\overline{R_{ск}}$ – базовий розрахунковий опір сколюванню деревини 1-го сорту (т.3, п.5 [1]);

m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);

m_e – коефіцієнт, що враховує температурно-вологісний режим для умов експлуатації А-2 (т.5, [1]);

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням.

2. Підбираємо переріз на виконання трьох умов:

2.1. За нормальними напруженнями:

$$s = \frac{M}{W} \leq R_u;$$

$$R_u = \frac{\overline{R_u} \cdot m_b \cdot m_n}{g_n} = \frac{1,6 \cdot 1 \cdot 0,8}{0,9} = 1,42 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2};$$

$$M = \frac{ql^2}{8} + \frac{Pl}{4} = \frac{4,5 \cdot 3,2^2}{8} + \frac{3,3 \cdot 3,2}{4} = 8,40 \text{ кН} \cdot \text{м} = 840 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

$$h^{nom} = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{b \cdot R_u}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 840}{15 \cdot 1,42}} = 15,37 \text{ см}.$$

2.2. За дотичними напруженнями:

$$t = \frac{Q \cdot S_{\bar{b}p}}{I_{\bar{b}p} \cdot b_{расч}} \leq R_{ск};$$

$$Q = \frac{g l}{2} + \frac{P}{2} = \frac{4,5 \cdot 3,2}{2} + \frac{3,3}{2} = 8,85 \text{ кН};$$

$$t_{max} = \frac{3Q}{2bh};$$

$$R_{ск} = \frac{\overline{R_{ск}} \cdot m_n \cdot m_e}{g_n} = \frac{0,18 \cdot 0,8 \cdot 1}{0,9} = 0,16 \text{ кН / см}^2;$$

$$h^{nom} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot R_{ск}} = \frac{3 \cdot 8,85}{2 \cdot 15 \cdot 0,16} = 5,53 \text{ см}.$$

2.3. За умови забезпечення нормативних прогинів:

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \frac{g^e l^3}{EI} + \frac{P^e l^2}{48EI} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{250}; \quad \text{де } \left[\frac{f}{l} \right] - \text{ за табл.16 [1].}$$

$$\text{Модуль пружності деревини (п. 3.5., [1]) } E = \frac{\overline{E} \cdot m_e}{g_n} = \frac{1000 \cdot 1}{0,9} = 1111 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\overline{E} = 1000 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ – базовий модуль пружності деревини.

$$h^{nom} = \sqrt[3]{\frac{60 \cdot q^H \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot b \cdot \left[\frac{f}{l} \right]} + \frac{12 \cdot P^H \cdot l^2}{48 \cdot E \cdot b \cdot \left[\frac{f}{l} \right]}} = \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 320^3 \cdot 250}{384 \cdot 1111 \cdot 15 \cdot 1} + \frac{12 \cdot 2,8 \cdot 320^2 \cdot 250}{48 \cdot 1111 \cdot 15 \cdot 1}} =$$

$$= 15,6 \text{ см} = 156 \text{ мм};$$

Приймаємо брус 150 x 175 мм.

З РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ, ЯКІ ПІДДАНІ ДІЇ ОСЬОВОЇ СИЛИ ЗІ ЗГИНОМ

Розрахунок позацентрово-розтягнутих та розтягнуто-зігнутих елементів проводиться відповідно до п 4.16 [1] за формулою

$$s = \frac{N}{A_p} + \frac{MR_p}{W_{poz}R_u} \leq R_p. \quad (27)$$

Позацентрово-стиснуті та стиснуто-зігнуті елементи розраховуються відповідно до п.4.17 [1] на міцність за формулою

$$s = \frac{N}{A_p} + \frac{M_D}{W} \leq R_c, \quad (28)$$

де M_D – згинальний момент від дії поперечних та поздовжніх навантажень, що визначається з розрахунку за деформованою схемою

$$M_D = \frac{M}{\chi}, \quad (29)$$

де χ – коефіцієнт, що враховує додатковий момент від поздовжньої сили в наслідок прогину елемента, визначається за формулою

$$\chi = 1 - \frac{l_x^2 N}{3000 \cdot A_{\sigma p} \cdot R_c}. \quad (30)$$

Задача 3.1. Перевірка перерізу розтягнуто-зігнутого елементу

Перевірити міцність бруса із деревини модрини 1-го сорту перерізом $h = 150$ мм, $b = 125$ мм, несиметрично ослабленого врізкою глибиною $h_{вр} = 30$ мм (рис. 5). Розрахункова центрально прикладена розтягуюча сила $N = 80$ кН. Умови експлуатації Б-1, ступінь відповідальності споруди - II.

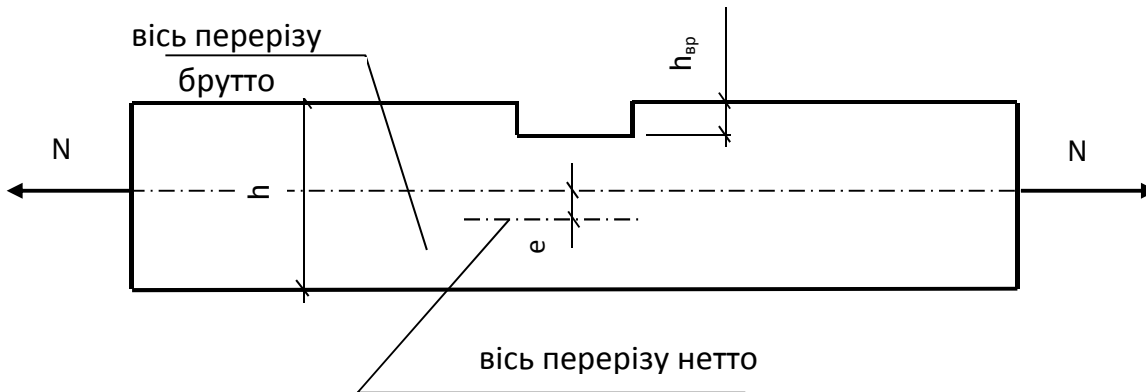


Рис. 5. Розрахункова схема розтягнуто-зігнутого елемента

Рішення

1. Визначаємо розрахункові опори деревини.

Розрахунковий опір згину деревини модрини 1-го сорту:

$$R_u = \frac{\overline{R_u} \cdot m_n \cdot m_\theta}{g_n} = \frac{15 \cdot 1,2 \cdot 1}{0,95} = 18,9 \text{ МПа} = 1,89 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\overline{R_u}$ – базовий розрахунковий опір стиску деревини 1-го сорту (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_θ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для II-го ступеню відповідальності споруди за [2].

Розрахунковий опір розтягу деревини модрини 1- го сорту:

$$R_p = \frac{\overline{R_p} \cdot m_n \cdot m_\epsilon \cdot m_0}{g_n} = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,8}{0,95} = 10,10 \text{ МПа} = 1,01 \text{ кН / см}^2,$$

де $\overline{R_p}$ – базовий розрахунковий опір деревини 1-го сорту розтягу (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для II го ступеню відповідальності споруди за [2];
- m_0 – для розтягнутих елементів з послабленнями в розрахунковому перерізі (п.3.2. и, [1]).

2. Обчислюємо розрахункову площу перерізу

$$A_p = A_{нт} = A_{бр} - A_{осл} = 15 \cdot 12,5 - 3 \cdot 12,5 = 150 \text{ см}^2.$$

3. Знаходимо ексцентриситет

$$e = \frac{h}{2} - \frac{h - h_{ер}}{2} = \frac{h_{ер}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ см}.$$

4. Визначаємо згинальний момент відносно осі, що проходить через центр тяжіння ослабленого перерізу

$$M = N \cdot e = 80 \cdot 1,5 = 120 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

5. Момент опору ослабленого перерізу

$$W = \frac{b(h - h_{ер})^2}{6} = \frac{12,5 \cdot 12^2}{6} = 300 \text{ см}^3.$$

6. Проводимо перевірку міцності за формулою 27

$$\sigma = \frac{N}{A_p} + \frac{MR_p}{W_{\text{роз}} R_u} = \frac{80}{150} + \frac{120 \cdot 1,01}{300 \cdot 1,89} = 0,74 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \leq R_p = 1,01 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}.$$

Міцність перерізу забезпечена.

Задача 3.2. Перевірка перерізу стиснуто-зігнутого елемента

Перевірити міцність верхнього поясу сегментної ферми із деревини сосни 2-го сорту, $b = 150$ мм, $h = 330$ мм, $L = 5,5$ м, $N = 230$ кН, $q = 9,5$ кН/м, $f = 0,08$ м. Товщина шару клеєного блоку – 33 мм. Умови експлуатації Б-1, ступінь відповідальності споруди - II.

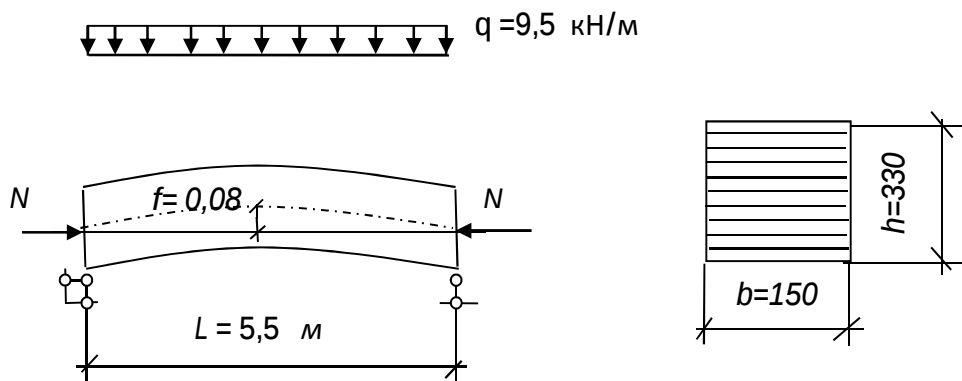


Рис. 6. Розрахункова схема стиснуто-зігнутого елемента

Рішення

1. Визначаємо розрахунковий опір стиску деревини сосни 2-го сорту:

$$R_c = \frac{\overline{R_c} \cdot m_n m_e}{g_n} = \frac{15 \cdot 1 \cdot 1}{0,95} = 15,8 \text{ МПа} = 1,58 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

де $\overline{R_c}$ – базовий розрахунковий опір стиску деревини 2-го сорту (т.3, [1]);

m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);

m_g – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);

g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для II-го ступеню відповідальності споруди за [2];

2. Визначаємо розрахункову площу перерізу

$$A_p = b \cdot h = 15 \cdot 33 = 495 \text{ см}^2.$$

3. Визначаємо розрахунковий згинальний момент

$$M = \frac{q l^2}{8} - N f = \frac{9,5 \cdot 5,5^2}{8} - 230 \cdot 0,08 = 17,52 \text{ кН} \cdot \text{м} = 1752 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

$$4. \text{ Визначаємо гнучкість за формулою } l_x = \frac{m_0 l}{i_x} = \frac{m_0 l}{0,289 h} = \frac{1 \cdot 550}{0,289 \cdot 33} = 58.$$

5. Визначаємо коефіцієнт ξ , що враховує додатковий момент від поздовжньої сили внаслідок прогину елемента

$$\chi = 1 - \frac{l_x^2 N}{3000 \cdot A \cdot R_c} = 1 - \frac{58^2 \cdot 230}{3000 \cdot 495 \cdot 1,58} = 0,55.$$

$$6. \text{ Момент опору перерізу } W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \cdot 33^2}{6} = 2722,5 \text{ см}^3.$$

7. Згинальний момент від дії поперечних та поздовжніх навантажень визначаємо з розрахунку по деформованій схемі

$$M_{\text{Д}} = \frac{M}{x} = \frac{1752}{0,55} = 3185 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

8. Перевірку міцності виконуємо за формулою 28 [1]

$$\sigma = \frac{230}{495} + \frac{3185}{2722,5} = 1,42 \text{ кН} / \text{см}^2 < R_c = 1,58 \text{ кН} / \text{см}^2.$$

Стійкість верхнього поясу забезпечена.

4 З'ЄДНАННЯ НА ЦИЛІНДРИЧНИХ НАГЕЛЯХ

Кількість нагелів n_n в симетричному з'єднанні визначається за формулою

$$n_n = \frac{N}{T \cdot n_{\text{ш}}}, \quad (55)$$

де T – найменша розрахункова несуча здатність одного зрізу нагеля, знайдена за табл. 17 [1].

Нагелі, як правило, слід розміщувати двома, рідше чотирма поздовжніми рядами. Розміщувати їх в одному чи трьох поздовжніх рядах не допускається, щоб уникнути збігу середнього ряду з серцевинною площиною елемента, де виникає тріщина від усушки.

Задача 4.1. Розрахунок нагельного з'єднання

Розрахувати та законструювати розтягнутий стик на нагелях із деревини сосни 2-го сорту при умовах: $N=160 \text{ кН}$, $h=200 \text{ мм}$, $a=80 \text{ мм}$, $c=150 \text{ мм}$.

Визначити мінімальне значення $L_{\text{накладки}}$. Умови експлуатації Б-3, ступінь відповідальності споруди – III.

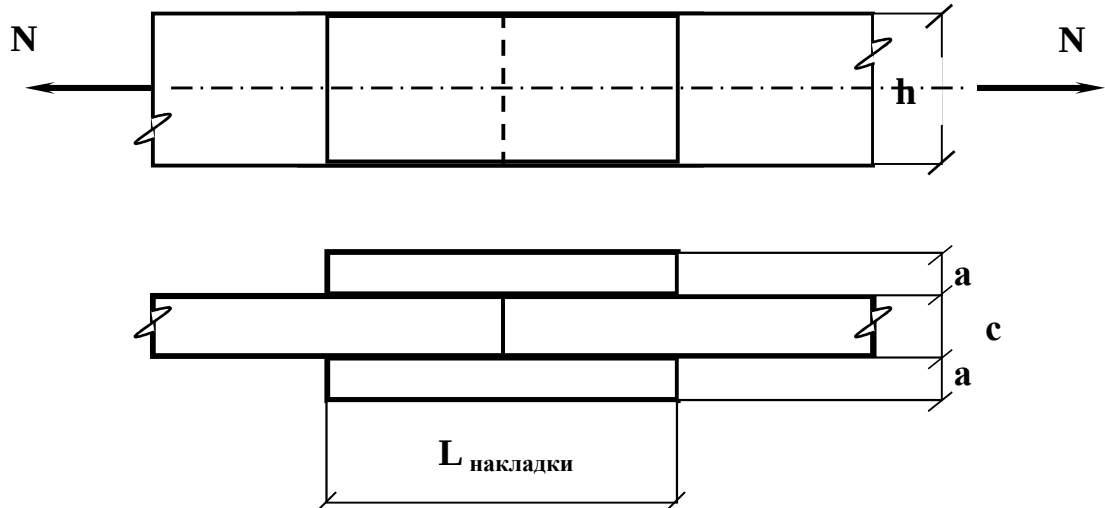


Рис. 7. Розрахункова схема нагельного з'єднання

Рішення

1. Діаметр болтів приймаємо за умови їх розстановки в два поздовжніх ряди відповідно до п. 5.18 [1] $d \leq h/9,5 = 20/9,5 = 2,1$ см. Приймаємо діаметр болта $d = 2$ см. З'єднання симетричне двох зрізне, $n_{ш} = 2$, вздовж волокон $\alpha = 0^0$, $K_\alpha = 1$. Товщина середніх елементів $c = 15$ см, крайніх (накладок) $a = 8$ см.

2. Визначаємо несучу здатність одного зрізу нагеля:

а) несуча здатність болта в одному шві за умови згину болта

$$T_u = 1,8d^2 + 0,02a^2 = 1,8 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 8^2 = 8,5 \text{ кН};$$

б) за умови зминання середніх елементів

$$T_c = 0,5c \quad d = 0,5 \cdot 15 \cdot 2 = 15 \text{ кН};$$

в) за умови зминання крайніх елементів (накладок)

$$T_a = 0,8a \quad d = 0,8 \cdot 8 \cdot 2 = 12,8 \text{ кН}.$$

Розрахункове (мінімальне) значення $T = 8,5 \text{ кН}$.

3. Визначаємо потрібну кількість нагелів (болтів)

$$n_{nom} = N / (T n_u) = 160 / (8,5 \cdot 2) = 9,4,$$

де n_u – кількість умовних зрізів одного нагеля.

Приймаємо $n = 10$ болтів (парну кількість) діаметром 20 мм на кожній половині стику. Із них кожні 6 болтів у середній зоні кожної половини стику можуть бути замінені стержнями такого ж діаметру.

4. Довжину накладки L приймаємо за умови розміщення в одному ряду 5 болтів (оскільки в два ряди необхідно розмістити 10 болтів)

$$L = 2 \left(\frac{n}{2} + 1 \right) \cdot 7d = 2 \cdot (5 + 1) \cdot 7 \cdot 2 = 168 \text{ см},$$

де n – кількість болтів в одному ряду.

5. Розміщення нагелів виконуємо відповідно до п. 5.18 [1].

Відстань між центрами сталених циліндричних нагелів вздовж волокон деревини $S_1 = 7d = 7 \cdot 20 = 140 \text{ мм}$; уперек волокон $S_2 = 3,5d = 3,5 \cdot 20 = 70 \text{ мм}$; від кромки елемента до центру отвору (уперек волокон) $S_3 = 3d = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм}$ (рис. 8).

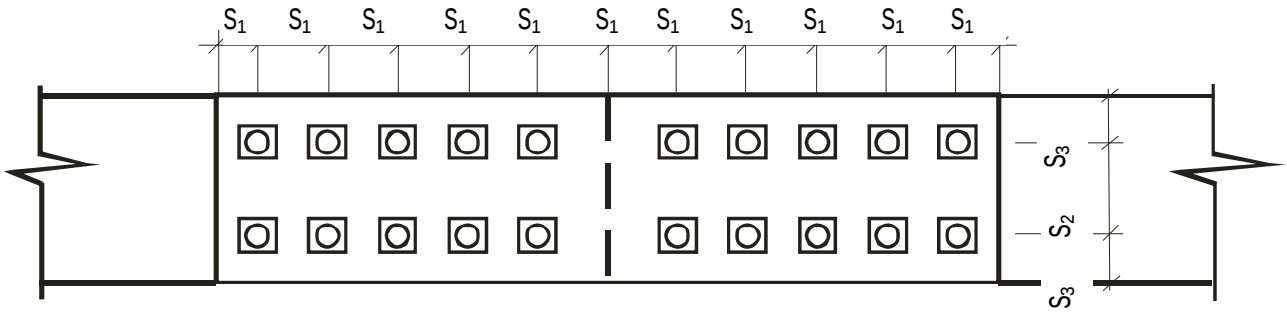


Рис. 8. Схема розміщення болтів

Задача 4.2. Перевірка міцності розтягнутого стику

Перевірити міцність нижнього поясу дощатої ферми із деревини сосни

2-го сорту при умовах: $N=40 \text{ кН}$, $h=150 \text{ мм}$, $a=30 \text{ мм}$, $c=50 \text{ мм}$, $d=12 \text{ мм}$.

Умови експлуатації А-1, ступінь відповідальності споруди – І.

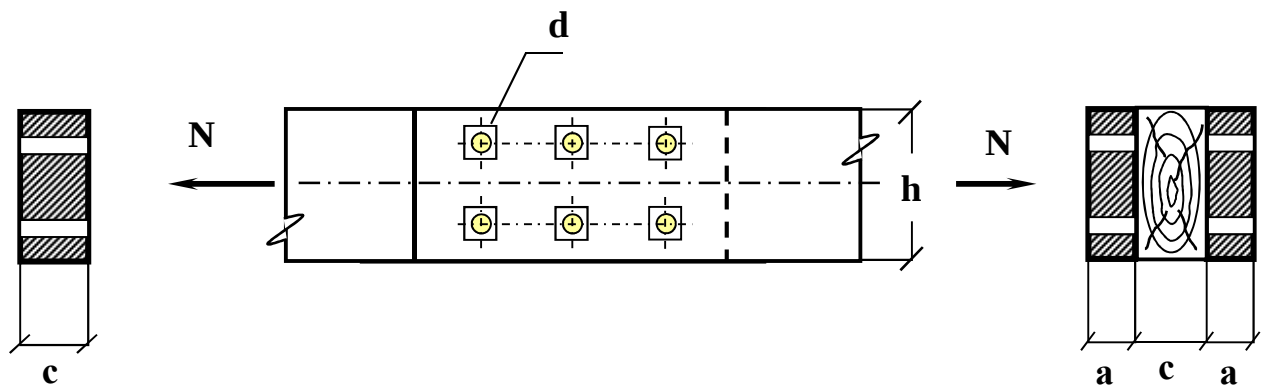


Рис. 9. Розрахункова схема розтягнутого стику

Рішення

1. Визначаємо розрахунковий опір розтягу деревини сосни 2-го сорту:

$$R_p = \frac{\overline{R_p} \cdot m_n \cdot m_{\epsilon} \cdot m_0}{g_n} = \frac{7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8}{1} = 5,6 \text{ МПа} = 0,56 \text{ кН / см}^2,$$

де $\overline{R_p}$ – базовий розрахунковий опір деревини 2-го сорту розтягу (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для I го ступеню відповідальності споруди за [2];
- m_o – для розтягнутих елементів з послабленнями в розрахунковому перерізі (п.3.2. и, [1]).

2. Виконуємо перевірку міцності середнього елемента

$$s = \frac{N}{(c \cdot h - 2 \cdot c \cdot d)} \leq R_p;$$

$$s = \frac{40}{(5 \cdot 15 - 2 \cdot 5 \cdot 1,2)} = 0,63 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} > R_p = 0,56 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.$$

Міцність середнього елемента не забезпечена.

3. Перевірка міцності крайніх елементів

$$s = \frac{N}{2(a \cdot h - 2 \cdot a \cdot d)} \leq R_p;$$

$$s = \frac{40}{2(3 \cdot 15 - 2 \cdot 3 \cdot 1,2)} = 0,53 \frac{\kappa H}{\text{см}^2} < R_p = 0,56 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.$$

Міцність крайніх елементів забезпечена.

4. Перевірка міцності нагельного з'єднання:

а) несуча здатність болта в одному шві за умови згину болта

$$T_u = 1,8d^2 + 0,02a^2 = 1,8 \cdot 1,2^2 + 0,02 \cdot 3^2 = 2,77 \kappa H; \quad T_u = 2,5d^2 = 2,5 \cdot 1,2^2 = 3,6 \kappa H;$$

б) за умови зминання середніх елементів

$$T_c = 0,5c \cdot d = 0,5 \cdot 5 \cdot 1,2 = 3 \kappa H;$$

в) за умови зминання крайніх елементів (накладок)

$$T_a = 0,8a \cdot d = 0,8 \cdot 3 \cdot 1,2 = 2,88 \text{ кН}.$$

Розрахункове (мінімальне) значення $T = 2,77 \text{ кН}$.

5. Розрахункова несуча здатність нагельного з'єднання

$$P_n = T \cdot n \cdot m = 2,77 \cdot 2 \cdot 6 = 33,24 \text{ кН} < N = 40 \text{ кН},$$

де n – кількість умовних зрізів одного нагеля;

m – розрахункова кількість нагелів.

Міцність нагельного з'єднання не забезпечено.

6. Висновок: нижній пояс ферми необхідно підсилювати, так як не забезпечена міцність середнього елемента шириною 5 см, та нагельне з'єднання не забезпечує сприйняття зусилля $N = 40 \text{ кН}$.

5 З'ЄДНАННЯ НА ВРУБКАХ

Розрахунок врубки на зминання деревини горизонтального елемента зусиллям $N_{см}$ під кутом α до напрямку волокон деревини виконують за формулою

$$N_{см} \leq T = R_{см} F_{см}; \quad (52)$$

за умови сколювання деревини за формулою

$$N_{ск} \leq T = R_{ск}^{cp} F_{ск}. \quad (53)$$

Середній за площею сколювання розрахунковий опір деревини сколюванню визначається за формулою

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + b \frac{l_{ск}}{e}}. \quad (54)$$

Задача 5.1. Розрахунок лобової врубки

Перевірити міцність опорного вузла брусчатої ферми із деревини сосни 1-го сорту при умовах: $N=40$ кН, $L_{ск}=250$ мм, $\alpha=30^\circ$, $h_{вр}=40$ мм, $b=150$ мм, $h=200$ мм. Умови експлуатації А-1, ступінь відповідальності споруди – І.

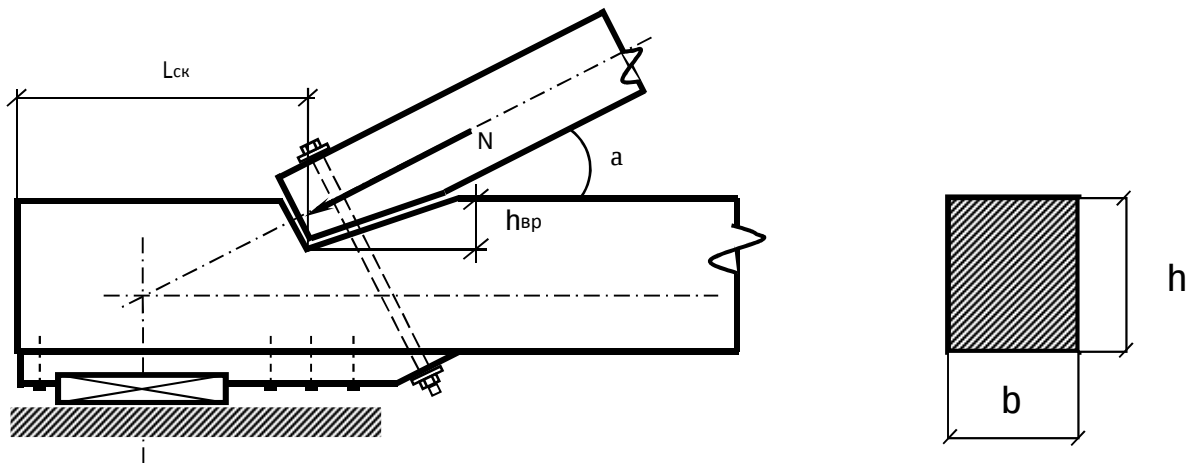


Рис. 10. Розрахункова схема лобової врубки

Рішення

1. Розрахунковий опір деревини на зминання під кутом α до напрямку волокон визначаємо за формулою

$$R_{сма} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90^0}} - 1 \right) \sin^3 \alpha},$$

де, $R_{см90^0} = 3$ МПа розрахунковий опір зім'яттю впоперек волокон:

$$R_{cm90^0} = \frac{\overline{R_{cm90^0}} \cdot m_n \cdot m_\varepsilon}{g_n} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 1}{1} = 3 \text{ МПа},$$

де, $\overline{R_{cm90^0}}$ – базовий розрахунковий опір зім'яттю деревини сосни 1-го сорту (т.3, п. 4 [1]);

m_n – перехідний коефіцієнт;

m_ε – коефіцієнт, що враховує температурно-вологісний режим для умов експлуатації А-1;

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням;

$R_{cm} = 16 \text{ МПа}$ розрахунковий опір зім'яттю вздовж волокон :

$$R_{cm} = \frac{\overline{R_{cm}} \cdot m_n \cdot m_\varepsilon}{g_n} = \frac{16 \cdot 1 \cdot 1}{1} = 16 \text{ МПа} ,$$

де, $\overline{R_{ск}}$ - базовий розрахунковий опір зім'яттю деревини сосни 1-го сорту (т.3, п. 1 [1]);

m_n - перехідний коефіцієнт;

m_ε - коефіцієнт, що враховує температурно-вологісний режим для умов експлуатації А-1;

γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням.

$$R_{cm30^0} = \frac{16}{1 + \left(\frac{16}{3} - 1\right) \sin^3 30^0} = 10,38 \text{ МПа} .$$

2. Перевірку міцності на зминання деревини під кутом $\alpha=30^0$ до волокон виконуємо за формулою

$$s_{сма} = \frac{N}{A_{см}} = \frac{N \cos \alpha}{h_{вр} b} \leq R_{сма} .$$

$$s_{см30^0} = \frac{40 \cdot \cos 30^0}{4 \cdot 15} = 0.57 \text{ кН / см}^2 = 5.7 \text{ МПа} \leq R_{см30^0} = 10.38 \text{ МПа} .$$

Умова міцності деревини на зминання забезпечена.

3. Визначаємо середній за площею сколювання розрахунковий опір сколюванню деревини

$$R_{ск}^{cp} = \frac{R_{ск}}{1 + b \frac{l_{ск}}{e}} = \frac{2.4}{1 + 0.25 \frac{25}{5}} = 1.07 \text{ МПа} ,$$

де, $R_{ск}$ – розрахунковий опір деревини сколюванню вздовж волокон:

$$R_{ск} = \frac{\overline{R_{ск}} \cdot m_n \cdot m_{\epsilon}}{g_n} = \frac{2.4 \cdot 1 \cdot 1}{1} = 2.4 \text{ МПа} ,$$

де, $\overline{R_{ск}}$ – базовий розрахунковий опір деревини сосни 1-го сорту сколюванню вздовж волокон (т.3, п. 5 [1]);

m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);

m_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує температурно-вологісний режим для умов експлуатації А-1 (т.5, [1]);

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням;

$l_{ск}$ – розрахункова довжина ділянки сколювання;

$\beta = 0.25$ – коефіцієнт для розрахунку на сколювання розтягнутих елементів з одностороннім розташуванням ділянки сколювання;

$e = 0.25h$ – плече внутрішньої пари сил сколювання.

4. Виконуємо перевірку умови міцності деревини на сколювання за формулою

$$t_{ск}^{cp} = \frac{N \cos a}{A_{ск}} \leq R_{ск}^{cp}.$$

$$t_{ск}^{cp} = \frac{40 \cdot \cos 30^0}{25 \cdot 15} = 0,092 \text{ кН / см}^2 = 0,92 \text{ МПа} \leq R_{ск}^{cp} = 1,07 \text{ МПа}.$$

Умова міцності на сколювання забезпечена.

5. Визначаємо розрахунковий опір деревини розтягу за формулою

$$R_p = \frac{\overline{R_p} \cdot m_n \cdot m_\epsilon}{g_n} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 1}{1} = 10 \text{ МПа},$$

де $\overline{R_p}$ – базовий розрахунковий опір деревини 2-го сорту розтягу (т.3, [1]);

- m_n – перехідний коефіцієнт (т.4, [1]);
- m_ϵ – коефіцієнт, що враховує температурно - вологісні умови експлуатації (т.5, [1]);
- g_n – коефіцієнт надійності за призначенням для I го ступеню відповідальності споруди за [2];

6. Перевіряємо умову міцності на розтяг ослабленого врубкою перерізу за формулою

$$s_p = \frac{N \cos a}{A_{um}} = \frac{N \cos b}{(h - h_{ep})b} \leq R_p.$$

$$s_p = \frac{40 \cos 30^0}{(20 - 4)15} = 0,144 \text{ кН / см}^2 = 1,44 \text{ МПа} \leq R_p = 10 \text{ МПа}.$$

Умова міцності на розтяг ослабленого врубкою перерізу забезпечена.

7. Висновок. Міцність опорного вузла брущатої ферми забезпечена.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1983.- 31с.
- 2 ДБН В.2.6-131:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К: Мінрегіонбуд України, 2010. -102с.
- 3 ДБН В.1.2.-2:2006. Навантаження і впливи. – К.: МБА та ЖКГ України, 2006. – 60 с.
- 4 Конструкції з дерева і пластмас: Підручник. – К.: Вища шк., 2000. – 304 с.: іл.
- 5 Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1990. – 287 с., ил.
- 6 Индустриальные деревянные конструкции: Учебное пособие для ВУЗов/ под ред. Ю.В. Слицкоухова – М.: Стройиздат, 1991. – 256с.: ил.

ЗМІСТ

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМУ РОЗТЯЗІ ТА СТИСКУ	3
Задача 1.1. Розрахунок центрально-розтягнутих елементів.....	4
Задача 1.2. Розрахунок центрально-стиснутих елементів	6
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ	8
ПРИ ЗГИНІ	8
Задача 2.1. Перевірка перерізу згинального елемента	8
Задача 2.2. Підбір висоти елемента, що згинається	12
3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ, ЯКІ ПІДДАНІ ДІЇ ОСЬОВОЇ СИЛИ	15
ЗІ ЗГИНОМ.....	15
Задача 3.1. Перевірка перерізу розтягнуто-зігнутого елемента	16
Задача 3.2. Перевірка перерізу стиснуто-зігнутого елемента	18
4 З'ЄДНАННЯ НА ЦИЛІНДРИЧНИХ НАГЕЛЯХ	20
Задача 4.1. Розрахунок нагельного з'єднання.....	20
Задача 4.2. Перевірка міцності розтягнутого стика.....	23
5 З'ЄДНАННЯ НА ВРУБКАХ	25
Задача 5.1. Розрахунок лобової врубки	26
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	30

Навчально-методичне видання

Будівельні конструкції : метод. вказ. до вик. практ. робіт для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. А. Настоящий, В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О. А. Плотніков, І. П. Заворуєва] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 31 с.

Редактор *В.О.Омельяненко*

Комп'ютерний набір та верстка *М.О. Федотова*.

Тиражування на різнографі *В.О.Омельяненко*.

Здано до друку "___".____.2020. Підписано до друку “__”_____2020. Формат 64х84 1/16 (А5). Папір газетний. Умов. друк. арк. _____. Тираж 150 прим. Зам. №_____/ 2020.

РВЛ ЦНТУ. м. Кропивницький, пр. Університетський, 8-А. Тел.: 390-541, 559-245.