

Лабораторна робота № 4

Розрахунок вузла дерев'яної ферми покриття

Мета: виконати підбір перерізу елементів вузла ферми із цільної або клеєної деревини.

Хід виконання роботи:

1. Встановити вихідні дані для розрахунку: тип поперечного перерізу; порода деревини; клас міцності деревини; експлуатаційний клас деревини – 2. Номер вузла і внутрішні зусилля в елементах вузла ферми прийняти із лабораторної роботи №3.
2. Визначити розрахункову величину X_d характеристики деревини (див. п.6.2.1 ДБН В.2.6-161 [4]):

$$X_d = k_{mod} \times \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad (4.1)$$

де X_d – характеристичне значення міцності, МПа (див. додаток Б ДБН В.2.6-161 [4]);

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом (табл. 6.1 ДБН В.2.6-161 [4]);

k_{mod} – коефіцієнт перетворення, що враховує тривалість дії навантаження та температурно-вологісні умови експлуатації (див. табл. А.1 ДБН В.2.6-161 [4]).

3. Підібрати переріз елементів вузла ферми, виконати перевірку міцності і стійкості елементів з умови міцності елемента на розтяг і стиск (п. 9.2.1 ДБН В.2.6-161 [4]):

- умова міцності на розтяг (стиск) вздовж волокон за формулою

$$\frac{\sigma_{t(c),0,d}}{f_{t(c),0,d}} \leq 1, \quad (4.2)$$

де $f_{t(c),0,d}$ – розрахункове значення міцності при розтягу (стиску) вздовж волокон, МПа, див. формулу (4.1);

- розрахункове напруження розтягу (стиску) вздовж волокон (п. 9.2.2 ДБН В.2.6-161 [4]) за формулою

$$\sigma_{t(c),0,d} = \frac{N_d}{A_{net}}, \quad (4.3)$$

- необхідна площа перерізу елемента, мм², за формулою

$$A_{net} = \frac{N_d}{f_{c(t),0,d}}, \quad (4.4)$$

де N_d – розрахункове зусилля вздовж волокон елемента, кН; приймати з лабораторної роботи №3.

Розміри перерізу елемента із цільної або клеєної деревини приймають за рекомендованим сортаментом пиломатеріалів, див. додаток Е ДБН В.2.6-161 [4].

4. Перевірити стійкість елементів вузла ферми (див. п. 9.3.3 ДБН В.2.6-161 [4])

- умова стійкості при стиску вздовж волокон за формулою:

$$\text{у площині ферми} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (4.5)$$

$$\text{із площині ферми} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (4.6)$$

де $k_{c,y}$ і $k_{c,z}$ – коефіцієнти поздовжнього згину:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (4.7)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (4.8)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (4.9)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (4.10)$$

- приведена гнучкість елемента

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (4.11)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}. \quad (4.12)$$

- гнучкість центрально-стиснутого елемента

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (4.13)$$

де l_{ef} – розрахункова довжина елемента згідно з таблицею 9.1 ДБН В.2.6-161 [4];

i – радіус інерції перерізу елемента відносно відповідної осі.

Схема розташування осей перерізу дерев'яного елемента наведено на рис. 4.1.

Приклад розрахунку вузла дерев'яної ферми покриття наведено в додатку Г.4.

Таблиця 4.1

Вихідні дані для розрахунку вузла дерев'яної ферми покриття

№ п/п	Найменування вихідних даних	Букви прізвища									
		А, І, С	Б, Ї, Т	В, Й, У	Г, К, Ф	Д, Л, Х	Е, М, Ц, Ч	Є, Н, Ш	Ж, О, Щ	З, П, Ю	И, Р, Я
1.	Порода деревини	Сосна		Ялина		Дуб		Клен		Бук	
2.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6-161, додаток Б [4]										
		хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50
		листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		
3.	Експлуатаційний клас деревини – 2										
4.	Тип поперечного перерізу – квадратний										

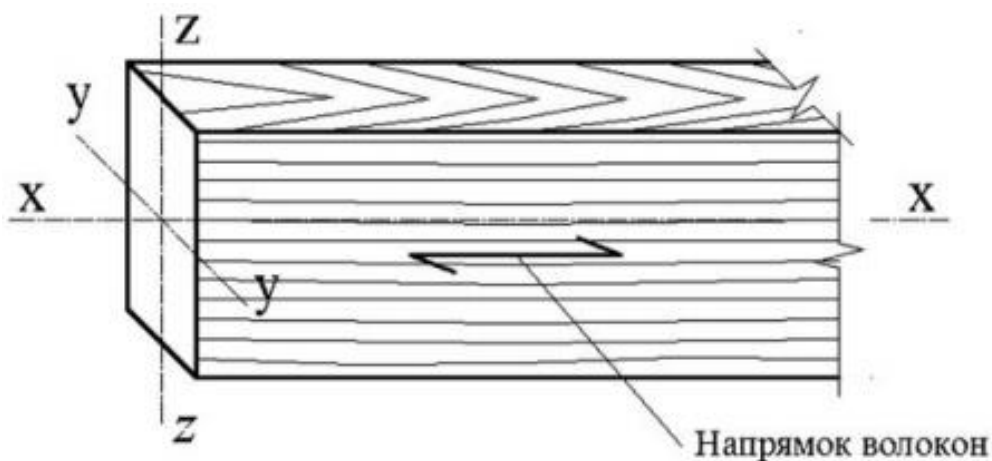


Рисунок 4.1 – Схема розташування осей дерев'яного елемента

Контрольні запитання

- 1) Види деревини, що використовують для будівельних конструкцій.
- 2) Які характеристики деревини необхідні для розрахунку на розтяг і стиск.
- 3) Умова міцності на розтяг і стиск.

Г.4 Приклад розрахунку вузла дерев'яної ферми покриття

Вихідні дані розрахунку:

Тип поперечного перерізу – прямокутний;

Порода деревини – ялина;

Клас міцності деревини – С40;

Експлуатаційний клас деревини – 2.

Хід розрахунку:

1. Внутрішні зусилля в елементах ферми визначаємо за результатами статичного розрахунку в програмному комплексі ЛПРА-САПР 2017 (рис. Г.6).

2. Визначаємо розрахункову міцність деревини:

- на розтяг уздовж волокон:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \times \frac{24,0}{1,3} = 11,08 \text{ МПа},$$

- на стиск уздовж волокон:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \times \frac{26,0}{1,3} = 12 \text{ МПа},$$

де $k_{mod}=0,6$ – перехідний коефіцієнт, що враховує вплив тривалості навантаження (постійне і середньо тривале від снігу) та вологості, що відповідає 2 експлуатаційному класу;

$f_{t,0,k} = 11,08 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності на розтяг уздовж волокон деревини листяних порід класу С40;

$f_{c,0,k} = 12 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності на стиск уздовж волокон деревини листяних порід класу С40;

$\gamma_m = 1,3$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для цільної деревини.

Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини, а також коефіцієнти надійності γ_M для деревини наведені в додатку Д, таблиці Д.3-Д.6.

3. Визначаємо необхідну площу поперечного перерізу елементів вузла №6 ферми:

- для елемента верхнього поясу

$$A^{1-10} = \frac{N_{1-10}}{f_{c,0,d}} = \frac{1242,36 \cdot 10^3}{12} = 103530 \text{ мм}^2$$

Приймаємо переріз нижнього поясу ферми розмірами 380х380 мм; площа перерізу $A^{1-10} = 380 \cdot 380 = 144400 \text{ мм}^2$.

4. Перевіримо міцність перерізу елемента верхнього поясу ферми на стиск уздовж волокон:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N^{1-10}}{A_{net}} = \frac{1242,36 \cdot 10^3}{144400} = 8,6 \text{ МПа} \leq f_{c,0,d} = 12 \text{ МПа.}$$

Міцність перерізу на стиск забезпечена.

5. Перевіримо стійкість елемента вузла верхнього поясу ферми (див. п. 9.3.3 ДБН В.2.6-161 [4])

- умова стійкості при стиску вздовж волокон за формулою:

$$\text{у площині ферми} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} = \frac{8,6}{0,957 \times 12} = 0,749 \leq 1,$$

$$\text{із площині ферми} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{8,6}{0,724 \times 12} = 0,990 \leq 1,$$

де $k_{c,y}$ і $k_{c,z}$ – коефіцієнти поздовжнього згину:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,631 + \sqrt{0,631^2 - 0,477^2}} = 0,957,$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,019 + \sqrt{1,019^2 - 0,953^2}} = 0,724,$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5(1 + 0,2(0,529 - 0,3) + 0,529^2) = 0,631,$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,2(1,058 - 0,3) + 1,058^2) = 1,019;$$

$\beta_c = 0,2$ – коефіцієнт прямолінійності для елементів із цільної деревини;

- приведена гнучкість елемента

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{28,36}{3,14} \sqrt{\frac{26}{9333,33}} = 0,477,$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{56,73}{3,14} \sqrt{\frac{26}{9333,33}} = 0,953,$$

- гнучкість елемента у площині ферми:

$$\lambda_y = l_{ef,y} / i_y = 3111,37 / 109,7 = 28,36,$$

- гнучкість елемента із площини ферми:

$$\lambda_z = l_{ef,z} / i_z = 6222,74 / 109,7 = 56,73,$$

- момент інерції перерізу верхнього поясу:

$$i_{y(z)} = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}} = \sqrt{\frac{380^4/12}{380^2}} = 109,7 \text{ мм.}$$

- розрахункове значення 5% квантиля модуля пружності цільної деревини вздовж волокон:

$$E_{0,05} = 2/3 \cdot E_{0,mean} = 2/3 \cdot 14000 = 9333,33 \text{ МПа,}$$

- середнє значення модуля пружності цільної деревини вздовж волокон (таблиця Б.1 ДБН В.2.6-161 [4]):

$$E_{0,mean} = 14000 \text{ МПа.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок інших елементів дерев'яної ферми.

Результати розрахунку елементів дерев'яної ферми наведено в табл. Г.4.

Висновок: За результатами розрахунку було виконано підбір перерізу елементів дерев'яної ферми покриття.

Таблиця Д.3

**Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини для хвойної
деревини за ДБН В.2.6-161:2017, Додаток Б**

№ з/п	Класи міцності	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Значення міцності, Н/мм ²													
1	Згин $f_{m,k}^a$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
2	Розтяг вздовж $f_{t,0,k}^a$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
3	Розтяг впоперек $f_{t,90,k}$	0,4											
4	Стиск вздовж $f_{c,0,k}^a$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
5	Стиск впоперек $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
6	Сколювання та кручення $f_{v,k}^c$	2,0											
Значення жорсткості, Н/мм ²													
7	Модуль пружності вздовж $E_{0,mean}^{a,b}$	7000	8000	9000	95000	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000	16000
8	Модуль пружності впоперек $E_{90,mean}^b$	230	270	300	320	330	370	380	400	430	470	500	530
9	Модуль зсуву $G_{mean}^{b,c}$	440	500	560	590	630	690	720	750	810	880	940	1000
Значення густини, кг/м ³													
10	Густина ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Примітка. Значення характеристичної міцності при розтягу впоперек напрямку волокон $f_{t,90,k}$, характеристична міцність під дією сколювання та кручення відрізняються від розрахункових значень за ДСТУ EN 338, але при розрахунку необхідно використовувати тільки значення, представлені тут.													
^a Розрахункове значення для кругляка підвищується на 20 % за відсутності на ньому кори та лубу без ослаблення крайової зони.													
^b Характеристичне значення модуля зсуву $G_{R,k}$ всіх класів міцності може прийматися 1,0 Н/мм ² при розрахунках. При напруженнях сколювання необхідно приймати значення модуля зсуву, який дорівнює $G_{R,mean} = 0,10 \cdot G_{mean}$.													
^c Для характеристичного значення жорсткості $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ та $G_{0,05}$ розрахунковими значеннями є: $E_{0,05} = 2/3 \cdot E_{0,mean}$, $E_{90,05} = 2/3 \cdot E_{90,mean}$, $G_{0,05} = 2/3 \cdot G_{mean}$.													

Таблиця Д.4

**Характеристичні значення міцності, жорсткості та густини для листяної
деревини за ДБН В.2.6-161:2017, Додаток Б**

№ з/п	Класи міцності	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Значення міцності, Н/мм ²							
1	Згин $f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
2	Розтяг вздовж $f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
3	Розтяг впоперек $f_{t,90,k}$	0,5					
4	Стиск вздовж $f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
5	Стиск впоперек $f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
6	Сколювання та кручення $f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Значення жорсткості, Н/мм ²							
7	Модуль пружності вздовж $E_{0,mean}^a$	10 000	10 000	11 000	14 000	17 000	20 000
8	Модуль пружності впоперек $E_{90,mean}^a$	640	690	750	930	1130	1330
9	Модуль зсуву G_{mean}^a	600	650	700	880	1060	1250
Значення густини, кг/м ³							
10	Густина ρ_k	530	560	590	650	700	900
Примітка. Розрахункове значення характеристичної міцності при розтягу впоперек напрямку волокон $f_{t,90,k}$ відрізняється від розрахункових значень за ДСТУ EN 338, але при розрахунку необхідно використовувати тільки значення, представлені тут.							
^a Для характеристичного значення жорсткості $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ та $G_{0,05}$ розрахунковими значеннями є: $E_{0,05} = 5/6 \cdot E_{0,mean}$, $E_{90,05} = 5/6 \cdot E_{90,mean}$, $G_{0,05} = 5/6 \cdot G_{mean}$.							

Коефіцієнти надійності за матеріалом γ_M для деревини

Основні комбінації	γ_M
Цільна деревина	1,3
Клеєна деревина	1,25
Клеєний шпон (LVL), фанера, OSB	1,2
ДСП, ДВП, МДФ	1,3
З'єднання	1,3
Металеві зубчасті пластини	1,25
Випадкові комбінації	1,0