

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра міського будівництва і господарства

03-04-122М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи з навчальної
дисципліни

«Інженерне проектування будівель та споруд»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою
«Будівництво та цивільна інженерія»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(Міське будівництво та господарство)
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 5 від 11.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інженерне проектування будівель та споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Гомон Св. Св. – Рівне : НУВГП, 2024. – 28 с.

Укладач : Гомон Св. Св., доктор технічних наук, професор, професор кафедри міського будівництва і господарства.

Відповідальний за випуск: Кочкаръов Д. В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міського будівництва і господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Караван В. В.

Попередня версія методичних вказівок 03-04-057

© Св. Св. Гомон, 2025

© НУВГП, 2025

Зміст

1. Передмова.....	4
2. Зміст дисципліни.....	5
3. Самостійна робота студентів.....	8
3.1. Завдання для самостійної роботи.....	8
3.2. Оформлення звіту про самостійну роботу.....	9
4. Теми практичних занять.....	9
4.1. Завдання до практичних занять.....	9
4.2. Визначення загальних геометричних розмірів ферми.....	10
4.3. Збір навантажень та статичний розрахунок ферми.....	11
4.4. Підбір перерізів елементів ферми.....	12
4.4.1. Стиснуті елементи.....	12
4.4.2. Розтягнуті елементи.....	16
4.5. Розрахунок та конструювання вузлових з'єднань.....	17
4.5.1. Опорний вузол.....	17
4.5.2. Вузол нижнього поясу.....	21
4.5.3. Проміжний вузол верхнього поясу.....	23
4.5.4. Гребневий вузол.....	23
5. Питання гарантованого рівня знань.....	25
6. Порядок оцінювання програмних результатів навчання.....	27
7. Рекомендована література.....	27

1. Передмова

Відповідно до освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» («Міське будівництво та господарство») вивчення навчальної дисципліни «Інженерне проектування будівель та споруд» здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня денної та заочної форм навчання передбачає такі основні види занять: лекції, практичні заняття та самостійну роботу в поза аудиторний час. Протягом вивчення дисципліни, використовуючи набуті знання, студенти виконують звіт з самостійної роботи. Кінцевою формою контролю знань студентів є залік. З метою отримання глибоких та стійких знань з дисципліни «Інженерне проектування будівель та споруд», окрім лекційних та практичних занять, що передбачені силабусом, є обов'язковою самостійна робота студентів в межах часу, що визначено силабусом з опрацюванням основної навчальної і нормативної літератури та безпосередніх консультацій з викладачем.

В результаті вивчення дисципліни «Інженерне проектування будівель і споруд» студент **повинен знати:**

- конструктивні схеми міських будівель і споруд;
- способи забезпечення просторової жорсткості будівель, споруд та їх конструктивних елементів;
- загальні правила конструювання дерев'яних елементів міських будівель і споруд;
- особливості компонування, розрахунку та конструювання окремих елементів та конструкцій міських будівель і споруд.

повинен вміти:

- правильно вибирати конструктивні схеми міських будівель і споруд загалом та їх окремих елементів зокрема;
- виконувати компонування будь-яких будівель загалом та їх окремих елементів;
- правильно конструювати дерев'яні елементи та конструкції міських будівель і споруд.

2. Зміст дисципліни

Змістовий модуль 1. Конструкційна деревина

ТЕМА 1. Деревина як конструкційний матеріал.

Фізичні властивості деревини. Механічні властивості деревини. Сортамент будівельної деревини. Переваги і недоліки використання деревини в будівництві. Вплив різних факторів на механічні властивості деревини. Модифікована деревина.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Деревина як конструкційний матеріал.
2. Листяні та хвойні породи деревини.
3. Будова деревини.
4. Цільна деревина.
5. Перерахуйте фізичні властивості деревини.
6. Вплив вологості на фізичні та механічні властивості деревини.
7. Вплив температури на фізичні та механічні властивості деревини.
8. Які є механічні властивості деревини?
9. Міцність деревини.
10. Характеристичне значення міцності деревини.
11. Розрахункові характеристики міцності матеріалів.
12. Модуль пружності деревини.
13. Вплив віку на фізичні та механічні властивості деревини.
14. Сортамент будівельної деревини.
15. Які є переваги і недоліки використання деревини в будівництві?
16. Вплив різних факторів на механічні властивості деревини.
17. Модифікована деревина.
18. Способи модифікації деревини.
19. Захист деревини від гниття та горіння.

ТЕМА 2. З'єднання елементів дерев'яних конструкцій.

Класифікація з'єднань. З'єднання на цвяхах. Болтові з'єднання. Клеєні з'єднання. Матеріали з клеєного шпону.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Види з'єднань елементів дерев'яних конструкцій.
2. Класифікація з'єднань.
3. З'єднання на цвяхах.
4. Особливості розрахунку з'єднання на цвяхах.
5. Болтові з'єднання.
6. Особливості розрахунку болтові з'єднань.
7. Клеєні з'єднання.
8. Особливості розрахунку клеєних з'єднань.
9. Матеріали з клеєного шпону.

ТЕМА 3. Особливості виготовлення елементів та конструкцій з деревини.

Особливості процесу виготовлення елементів та конструкцій з деревини. Механічна обробка деревини. Сушіння деревини. Особливості виготовлення клеєних елементів та конструкцій.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Особливості процесу виготовлення елементів та конструкцій з деревини.
2. Особливості сортування пиломатеріалів.
3. Механічна обробка деревини.
4. Підготовка матеріалів, виробів та елементів до сушіння.
5. Особливості сушіння деревини.
6. Особливості виготовлення клеєних елементів та конструкцій.
7. Особливості приготування та нанесення клеїв.
8. Процес склеювання елементів та конструкцій з деревини.
9. Контроль якості клеєних конструкцій з деревини.

Змістовий модуль 2. Особливості розрахунку елементів та конструкцій з деревини

ТЕМА 4. Розрахунок дерев'яних елементів та конструкцій за граничними станами.

Будівельні дерев'яні конструкції в будівлях і спорудах та їх класифікація. Метод розрахунку за граничними станами. Навантаження та діяння, сполучення навантажень. Основні характеристики матеріалів.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Класифікація дерев'яних конструкцій.
2. За якими групами граничних станів розраховують конструкції з деревини?
3. Особливості розрахунку за I групою граничних станів.
4. Особливості розрахунку за II групою граничних станів.
5. Навантаження та діяння, сполучення навантажень.
6. Характеристичні та розрахункові значення несучої здатності.
7. Назвіть основні характеристики матеріалів.

ТЕМА 5. Робота та розрахунок елементів цільного перерізу.

Розрахунок елементів на центральний розтяг. Розрахунок елементів на центральний стиск. Розрахунок згинальних елементів.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Особливості розрахунку елементів з деревини на центральний розтяг.
2. Як визначити розрахункове значення міцності при розтягу вздовж волокон?
3. Формула для визначення розрахункового напруження розтягу вздовж волокон.
4. Як визначити розрахункову площу перерізу елемента?
5. Особливості розрахунку елементів з деревини на центральний стиск.
6. Як визначити розрахункове значення міцності при стиску вздовж волокон?
7. Формула для визначення розрахункового напруження стиску вздовж волокон.
8. Особливості розрахунку згинальних елементів з деревини.
9. Як визначити розрахункове значення міцності при згині?
10. Формула для визначення розрахункового напруження згину.
11. Що таке розрахунковий згинальний момент?

ТЕМА 6. Особливості розрахунку дерев'яних балок, колон і ферм.

Класифікація та розрахунок балок. Класифікація та розрахунок колон. Класифікація та розрахунок ферм.

Питання для контролю та самоконтролю

1. Класифікація балок з деревини.
2. Особливості розрахунку балок з деревини.
3. Класифікація колон з деревини.
4. Особливості розрахунку колон з деревини.
5. Класифікація ферм з деревини.
6. Особливості розрахунку ферм з деревини.

3. Самостійна робота студентів

3.1. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва
1	2
Змістовний модуль 1	
1	Фізичні властивості деревини. Механічні властивості деревини. Сортамент будівельної деревини. Переваги і недоліки використання деревини в будівництві. Вплив різних факторів на механічні властивості деревини. Модифікована деревина.
2	З'єднання елементів дерев'яних конструкцій. Класифікація з'єднань. З'єднання на цвяхах. Болтові з'єднання. Клеєні з'єднання. Матеріали з клеєного шпону.
3	Особливості процесу виготовлення елементів та конструкцій з деревини. Механічна обробка деревини. Сушіння деревини. Особливості виготовлення клеєних елементів та конструкцій.
Змістовний модуль 2	
4	Будівельні дерев'яні конструкції в будівлях і спорудах та їх класифікація. Метод розрахунку за граничними станами. Навантаження та діяння, сполучення навантажень. Основні характеристики матеріалів.
5	Розрахунок елементів на центральний розтяг. Розрахунок елементів на центральний стиск. Розрахунок згинальних елементів.
6	Класифікація та розрахунок балок. Класифікація та розрахунок колон. Класифікація та розрахунок ферм.

3.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи студента над вивченням дисципліни «Інженерне проектування будівель та споруд» є складання письмового звіту. Звіт включає план, вступ, основну частину, висновки, список використаної літератури.

Звіт оформляється в рукописному або друкованому варіанті на стандартному папері А4 з одного боку. Захист звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені студентом і викладачем.

4. Теми практичних занять

№ з/п	Теми практичних занять
1	2
1	Визначення загальних геометричних розмірів ферми (6 балів)
2	Збір навантажень та статичний розрахунок ферми (6 балів)
3	Підбір перерізів елементів ферми (6 балів)
4	Розрахунок стиснутих елементів ферми (6 балів)
5	Розрахунок розтягнутих елементів ферми (6 балів)
6	Розрахунок та конструювання вузлових з'єднань (6 балів)
7	Розрахунок та конструювання опорного вузла (6 балів)
8	Розрахунок та конструювання вузла нижнього поясу (6 балів)
9	Розрахунок та конструювання проміжного вузла верхнього поясу (6 балів)
10	Розрахунок та конструювання гребеневого вузла (6 балів)

4.1. Завдання до практичних занять

При проведенні практичних занять необхідно навчитися проектувати металодерев'яну ферму покриття складської будівлі II-го класу відповідальності. Основою холодної покрівлі є дощатий настил по різних прогонах. Верхній пояс та стиснуті елементи решітки рекомендується проектувати з деревини (брусів), а нижній пояс та розтягнуті елементи решітки - з металевих тяжів. Матеріал

для несучих конструкцій – сосна вологістю 12%. З інших вихідних даних відомі:

- розміри будівлі в плані $L \times A$, м;
- крок ферм a , м;
- висота ферми $H = L/k_h$, м;
- будівельний підйом $f_{\text{б}y\text{д}} = L/k_f$, м;
- крок прогонів b_1 , м;
- група конструкцій – А... - Г...;
- сорт деревини - ... ; сталь - С ...;
- район будівництва - м.

4.2. Визначення загальних геометричних розмірів ферми

Під вказану покрівлю в якості несучої конструкції покриття приймається трикутна ферма.

Кут нахилу верхнього поясу ферми до горизонталі α_o та $\cos \alpha_o$ визначаємо, виходячи з умови

$$\operatorname{tg} \alpha_o = (H \cdot 2) / L, \quad (1)$$

Довжина схилу верхнього поясу становить

$$AB = \sqrt{(L/2)^2 + H^2}. \quad (2)$$

Прийmemo ферму чотирьох панельною по верхньому та трьох панельною по нижньому поясу (рис. 1). Довжина панелей верхнього поясу за їх рівності становитиме $AB = BB = AB / 2$.

Стояки ферми BD і $B'D'$ розташовані в місцях з'єднання панелей верхнього поясу (по середині довжини) перпендикулярно до нього.

Наявність будівельного підйому ферми зменшує довжину зазначених стояків на величину $f_{\text{б}y\text{д}} / \cos \alpha$. Тоді їхня довжина становитиме

$$BD = B'D' = AB \cdot \operatorname{tg} \alpha - f_{\text{б}y\text{д}} / \cos \alpha. \quad (3)$$

Довжини елементів AD , DB та DD' будуть рівні, відповідно,

$$AD = DB = \sqrt{AB^2 + BD^2}, \quad (4)$$

$$DD' = 2 \sqrt{DB^2 - (H - f_{\text{б\у\delta}})^2}. \quad (5)$$

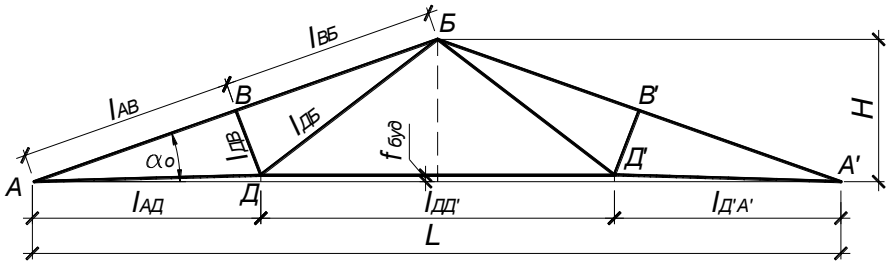


Рис. 1. Геометрична схема металодерев'яної трикутної ферми

4.3. Збір навантажень та статичний розрахунок ферми

Навантаження на ферму доцільно збирати в табличній формі.

Таблиця 1

Збір навантажень на ферму, кН/м²

Елементи покрівлі	Характеристичне навантаження, кН/м ²	Коефіцієнт надійності γ_f	Експлуатаційне навантаження, кН/м ²	Коефіцієнт надійності γ_{fn}	Розрахункове навантаження, кН/м ²
Рулонна тришарова покрівля					
Пароізоляція (один шар толю)					
Щит захисного настилу, $\delta \cdot \rho$					
Поперечні та діагональні планки ($\approx 50\%$ ваги щита захисного настилу)					
Прогін $b_n \times h_n$ см (орієнтовно), $b_n \cdot h_n \cdot \rho / b_l$					
Всього	$g_{o, \text{покр}} =$				$g_{m, \text{покр}} =$
Снігове навантаження	$S_o =$				$S_m =$
Повне навантаження					

Власна вага ферми разом із в'язями

$$g_{o, \phi} = \frac{g_{o, \text{покр}} + S_o}{1000 / (K_{\text{в.в.}} \cdot L) - 1}, \quad (6)$$

де $K_{\text{в.в.}} = 3$ - коефіцієнт власної ваги ферми.

Розрахункове навантаження на l_m горизонтальної проекції верхнього поясу ферми:

а) від власної ваги покриття

$$q_n = (g_{m,покp} + g_{o,ф} \cdot \gamma_{fm}) \cdot a, \quad (7)$$

де $\gamma_{f,m} = 1,1$ - коефіцієнт надійності за розрахунковим навантаженням для ферми покриття;

б) від снігу

$$q_{сн} = S_m \cdot a. \quad (8)$$

Розрахункові зусилля в елементах ферми рекомендується визначати за допомогою програмних комплексів або за допомогою діаграми Максвела-Кремони.

Величина опорних реакцій ферми складатиме

$$R_A = R_{A'} = (q_n + q_{сн}) \cdot L/2. \quad (9)$$

4.4. Підбір перерізів елементів ферми

4.4.1. Стиснуті елементи

Верхній пояс. Вузли верхнього поясу рекомендується виконувати лобовим упором елементів, а розрахунок останніх слід вести за схемою стиснуто-зігнутого стержня з розрахунковим прольотом l_{AB} або l_{BB} . Підбір перерізу верхнього поясу здійснюють після розрахунку ферми в програмних комплексах або за допомогою діаграм Максвела-Кремони за максимальними розрахунковими зусиллями в зазначених елементах:

- подовжнім зусиллям N_i ;
- згинаючим моментом від зовнішнього рівномірно розподіленого навантаження M_{qi} .

Для зменшення моменту від зовнішнього навантаження M_{qi} вузли верхнього поясу ферми конструюють з від'ємним ексцентриситетом передачі подовжніх зусиль. Завдяки цьому в елементах верхнього поясу виникає розвантажуючий момент $M_e = N_i \cdot e_o$. Оптимальну величину ексцентриситету e знаходять з умови рівності напружень посередині та на кінцях панелі елемента

$$e_o = M_{qi} / (N_i \cdot (\xi + 1)), \quad (10)$$

де $\xi = 0,5$ - коефіцієнт, що приймається орієнтовно.

Ексцентриситет в елементах утворюється шляхом зміщення центру площадок зминання у вузлах на величину e_o донизу від геометричної осі верхнього поясу. Конструктивно це досягається влаштуванням нижніх врубок в торцях елементів на глибині $2e_o$ від верхньої грані. Величина ексцентриситету в усіх вузлах верхнього приймається однаковою та рівною e_o .

Ширину b верхнього поясу з бруса призначають за табл. 5.44 [1] або додатком А та обчислюють необхідні мінімальні розміри торцевих площадок зминання у вузлах ферми:

а) в опорному та гребеновому вузлах, де зминання деревини відбувається під кутом $\alpha = \alpha_o - \alpha_1 = \alpha_o - \arctg(2 \cdot f_{бyд} / L)$ до напрямку волокон,

$$h_p = \frac{N_{Ad}}{b f_{c,\alpha,d}} \quad (11)$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{K_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (12)$$

$$f_{c,0,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

$$f_{c,90,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m},$$

де $f_{c,0,k} = 27$ МПа – характеристичне значення опору стиску хвойних порід 1 сорту вздовж волокон (клас міцності С45 за табл. Б1 [5]); $f_{c,90,k} = 3,1$ МПа – характеристичне значення опору стиску хвойних порід 1 сорту поперек волокон (клас міцності С45 за табл. Б1 [5]); K_{mod} – коефіцієнт, що враховує постійні і середньої тривалості навантаження (табл. А1 [5]); $K_{c,90}=1$ – коефіцієнт, що враховує конфігурацію навантаження, можливого розколу, та ступінь стискаючого навантаження; $\gamma_M = 1,3$ – коефіцієнт надійності для характеристики матеріалу, табл. 6.1 [5].

б) в проміжному вузлі, де зминання деревини відбувається вздовж волокон

$$h_p = \frac{N_{BB}}{bf_{c,0,d}} \quad (13)$$

З урахуванням вищесказаного необхідна висота бруса верхнього поясу ферми становитиме

$$h_{nec} = h_{p,max} + 2 \cdot e_o, \quad (14)$$

де $h_{p,max}$ - максимальне значення висоти площадки змінання у вузлах ферми за формулами (11) і (13)

Остаточну висоту верхнього поясу з бруса приймають $h \geq h_{nec}$.

Для перевірки достатності розмірів прийнятого бруса визначають:

геометричні характеристики його поперечного перерізу

$$A_p = b \times h \quad \text{та} \quad W_p = bh^2/6; \quad (15)$$

гнучкість поясу в площині ферми

$$\lambda = l/i_x, \quad (16)$$

розрахунковий згинаючий момент

$$M = M_{qi} - M_e = M_{qi} - N_i \cdot e_o, \quad (17)$$

Визначаємо відносну гнучкість

$$\lambda_{red,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}; \quad (18)$$

$$E_{0,05} = \frac{2}{3} E_{0,mean},$$

де - $E_{0,mean}$ - модуль пружності деревини класу згідно табл. Б1 [5].

Визначаємо напруження в стержні:

$$\text{- від поздовжньої сили } \sigma_{c,d} = \frac{N}{A_n} \quad (19)$$

$$\text{- від згину } \sigma_{m,d,y} = \frac{M_{d,y}}{W_y} \quad (20)$$

Оскільки значення гнучкості $\lambda_{red,y} > 0.3$ то перевіряємо чи виконується умова:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{K_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} \leq 1;$$

$$\text{де } f_{m,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$$

де $f_{m,k}$ – характеристичне значення опору деревини згину.

Значення $K_{c,y}$ знаходять в залежності від гнучкості:

$$K_{c,y} = \frac{1}{K_y \cdot \sqrt{K_y^2 - \lambda_{red,y}^2}},$$

β_c – коефіцієнт, який використовується для елементів в межах прямолінійності і для деревини $\beta_c = 0,2$.

Стійкість верхнього поясу з площини ферми забезпечується кріпленням панелей покриття.

Стояк ВД. Розміри поперечного перерізу стояка $b_c \times h_c$ з розрахунковою довжиною $l_{ВД}$ приймають із конструктивних міркувань перевіряють на дію розрахункового зусилля $N_{ВД}$.

Із умови стиску (зминання підбалка над торцем стояка) за формулою

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_5}{bh} \quad (21)$$

$$f_{p,90,d} = f_{c,90,d} \cdot \left(1 + \frac{8}{l_p + 1,2}\right) \quad (22)$$

де $l_p = h$.

Проводимо перевірку прийнятого перерізу на міцність

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_5}{A_n} \quad (23)$$

Проводимо перевірку прийнятого перерізу на втрату стійкості.

Гнучкість стержня прийнятого перерізу

$$\lambda = \frac{l_5}{i_{min}},$$

$$\text{де } i_{min} = i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$I_z = \frac{h^3 b}{12}$$

Відносна гнучкість елемента відносно осі Y за формулою

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

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

Напруження в перерізі становить

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_5}{k_{c,y} A_e}$$

4.4.2. Розтягнуті елементи

Всі розтягнуті елементи доцільно проектувати з двох круглих тяжів за відповідними зусиллями N_{AD} , $N_{ДД'}$ та $N_{ДБ}$.

Необхідна площа перерізу елемента AD

$$A_{nec} = N_{AD} / (R_y \cdot \gamma_c), \quad (24)$$

де R_y - розрахунковий опір арматурної сталі круглих тяжів,

приймається за табл.51*[5];

γ_c - коефіцієнт умов роботи сталевих тяжів за табл.6*[5].

Необхідний діаметр одного тяжа визначають за виразом

$$d_{nec} = \sqrt{A_{nec} \cdot 4 / (2 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot \pi)}, \quad (25)$$

де $0,8$ - коефіцієнт, що враховує послаблення перерізу різьбою;

$0,85$ - коефіцієнт нерівномірності роботи двох стержнів.

Остаточний діаметр одного тяжа приймають за табл. 5.58 [1] або додатком Б, дотримуючись умови $d \geq d_{nec}$.

В аналогічному порядку визначають діаметри сталевих стержнів ДД' та ДБ.

Для зменшення прогину елемента ДД' передбачають підвіску із круглої сталі діаметром не менше 12 мм. Діаметри петель $d_{нет,AD}$, $d_{нет,ДД'}$ та $d_{нет,ДБ}$, для приєднання сталевих тяжів до

проміжних вузлів нижнього поясу, знаходять за умовою рівномірності зазначених тяжів та віток відповідних петель.

Стержні *АД*, *ДД'* та *ДБ* розташовують щільно один до одного та з'єднують між собою по довжині через *Ім* за допомогою зварювання.

4.5. Розрахунок та конструювання вузлових з'єднань

4.5.1. Опорний вузол

Розрахункові зусилля в елементах, що сходяться в цьому вузлі, N_{AB} та N_{AD} приймають за табл. 2.

Необхідну довжину горизонтальної ділянки опираючої ферми на обв'язочний брус визначають із умови його зминання поперек волокон за формулою

$$l_{nec} = \frac{R_A}{bf_{p,90}}, \quad (26)$$

$$\text{де } f_{p,90} = f_{c,90,d} \left(1 + \frac{8}{l_p + 1,2} \right),$$

де $l_p = b$;

$$f_{c,90,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} \quad (27)$$

тут $f_{c,k,d}$ - характеристичне значення міцності деревини поперек волокон класу (табл.Б1 [5]).

Для утворення горизонтальної опорної площадки використовують подушку з перерізом бруса $b \times h$ та довжиною $l_n \geq 500 \text{ мм}$ зі зрізкою горизонтальної площадки на величину l_{nec} . Подушку слід врізати в брус верхнього поясу на глибину $h_{ep} \geq h_p$, щоб забезпечити не тільки достатню площу зминання торця ферми, але й необхідний ексцентриситет передачі подовжніх зусиль на верхній пояс $e = h/2 - h_{ep} / 2 \geq e_o$.

$$l_{nod} = \frac{F_1}{bf_{v,d}}$$

де $f_{v,d}$ - розрахунковий опір сколюванню вздовж волокон, який визначиться за формулою

$$f_{v,d} = K_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}.$$

Тут $f_{v,k} = 2\text{МПа}$ – характеристичний опір сколюванню вздовж волокон згідно табл. Б1 [5]; $\gamma_M = 1,3$ – коефіцієнт надійності для характеристики матеріалу, табл. 6.1 [5].

Подушку притягують до бруса верхнього поясу двома парами болтів діаметром не менше 12 мм. Нижній пояс рекомендується приєднувати до опорного вузла траверсою, звареною із швелера №8..10, стінку якого необхідно посилювати листом товщиною $t_1 = 8...10\text{мм}$ (рис. 2). Ширину опорної пластини траверси слід приймати такою, щоб забезпечити необхідний розмір висоти площадки змінання торця верхнього поясу (опорної подушки), тобто повинна виконуватися умова $b_{nl} \geq h_p$. Товщину опорної пластини траверси рекомендується приймати в межах $t_2 = 14...20\text{мм}$.

В подовжньому напрямку траверсу розраховують як балку з розрахунковим прольотом, рівним відстані між вітками (тяжами) нижнього поясу

$$l_{mp,o} = b + 3 \cdot d_{AD}. \quad (29)$$

Максимальний розрахунковий момент в траверсі становить

$$M_{mp} = \frac{N_{AD}}{2} \cdot (l_{mp,o} / 2 - b/4). \quad (30)$$

Основні геометричні характеристики траверси:

а) площа перерізу

$$A = A_{л1} + A_{шв} + A_{л2}; \quad (31)$$

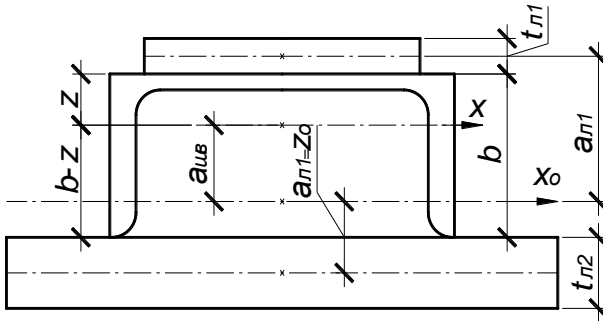


Рис. 2. До визначення геометричних характеристик перерізу траверси в опорному вузлі

б) положення центра ваги

$$z_o = \sum S_i / A; \quad (32)$$

в) момент інерції перерізу

$$I_{x_o} = I_{ув} + A_{ув} \cdot a_{ув}^2 + I_{л1} + A_{л1} \cdot a_{л1}^2 + I_{л2} + A_{л2} \cdot a_{л2}^2, \quad (33)$$

де $a_{л1}$, $a_{л2}$, $a_{ув}$ - відстані від центра ваги перерізу траверси до центрів ваги її елементів за формулами

$$\left. \begin{aligned} a_{л1} &= b + t_{л1} / 2 + t_{л2} / 2 - z_o; \\ a_{л2} &= z_o; \\ a_{ув} &= b + t_{л2} / 2 - z - z_o; \end{aligned} \right\} (34)$$

г) мінімальний момент опору

$$W_{min} = I_{x_o} / (h - z_o) = I_{x_o} / ((t_{л1} + b + t_{л2} / 2) - z_o). \quad (35)$$

В цілому розміри траверси достатні при виконанні умови

$$\sigma = M_{тр} / W_{min} \leq R_y \cdot \gamma_c / \gamma_n. \quad (36)$$

Зусилля в нижньому поясі розподіляється на лист траверси у вигляді рівномірного розподіленого навантаження

$$g = N_{АД} / (l_{л.тр} \cdot b), \quad (37)$$

де $l_{л.тр} \geq (h_{ув} + 5 \dots 6 \text{ см})$ - довжина опорного листа траверси.

В поперечному напрямку згинаючий момент для смуги шириною $b_o = 1см$ становитиме:

а) на середній ділянці при заземлених кінцях

$$M = g \cdot b_o \cdot h_{usb}^2 / 12; \quad (38)$$

б) на консольних ділянках

$$M = g \cdot b_o \cdot l_c^2 / 12; \quad (39)$$

За максимальним моментом з формул (38) та (39) уточнюють необхідну товщину опорного листа траверси

$$t_{nec} = \sqrt{6 \cdot M \cdot \gamma_n / (R_y \cdot \gamma_c)}. \quad (40)$$

Зварні шви для кріплення швелера до опорного листа траверси повинні бути з товщиною катета

$$k_f \geq N_{AD} / (2l_w \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c) \geq 4мм, \quad (41)$$

де l_w - розрахункова довжина шва, що залежить від дійсної

довжини траверси l_{mp}

$$l_w = l_{mp} - 1...2см = l_{mp,o} + 2 \cdot \Delta - 1...2см, \quad (42)$$

Δ - відстань від осі тяжів до крайки опорної пластини траверси (рекомендується приймати не менше 75мм);

R_{wf} - розрахунковий опір кутових зварних швів умовному зрізу по металу шва;

β_f - коефіцієнт для розрахунку кутового шва по металу шва;

γ_{wf} - коефіцієнт умов роботи шва по металу шва;

γ_c - коефіцієнт умов роботи елемента, приймається.

Кріплення ферми до обв'язочного бруса (рис.3) виконують з конструктивних міркувань за допомогою болтів (діаметром не менше 12мм) та кутиків (не менше 75×6мм).

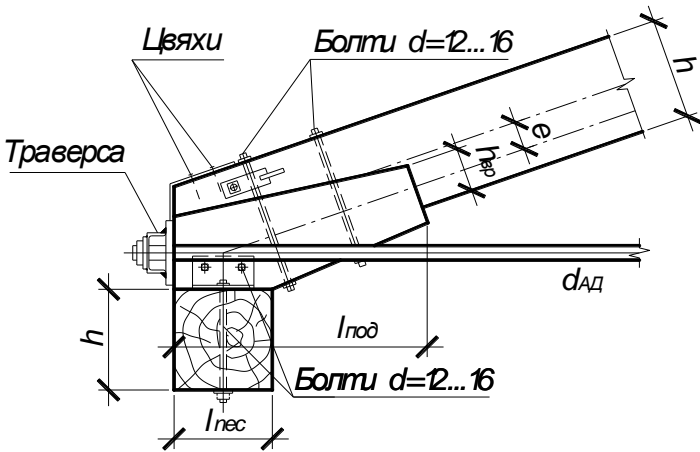


Рис. 3. Конструкція опорного вузла

4.5.2. Вузол нижнього поясу

Розрахункові зусилля в елементах, що сходяться в цьому вузлі, N_{AD} , $N_{DD'}$, $N_{ВД}$ та $N_{ДБ}$.

Фасонки у вузлі рекомендується виконувати із листової сталі товщиною $t_{\phi} = 10 \text{ мм}$ з отворами для валиків. Елементи нижнього поясу і розтягнутий розкіс кріпляться за допомогою петель, діаметри яких розраховані вище. Розрахунковий проліт валиків визначається за найбільшим діаметром петель $l_e = d_{пет, max} + t_{\phi}$. Розрахункові моменти у відповідних валиках, якими металеві тяжі AD , DD' та $ДБ$ закріплюються в зазначеному вузлі, визначають за формулою

$$M_i = N_i \cdot l_e / 4, \quad (43)$$

де N_i - зусилля в стержнях AD , DD' та $ДБ$.

Необхідний діаметр кожного з валиків знаходять за виразом

$$d_{ei, nec} = \sqrt[3]{M_i \cdot \gamma_n / (0,1 \cdot R_y \cdot \gamma_c)}, \quad (44)$$

Діаметр кожного прийнятого валика (рис.4) перевіряють:
а) на його зріз

$$\sigma_{si} = \frac{N_i}{2} \left/ \frac{\pi \cdot d_{ei}^2}{4} \right. \leq R_s \cdot \gamma_c / \gamma_n; \quad (45)$$

б) на змінання фасонки

$$\sigma_p = N_i / (2 \cdot t_\phi \cdot d_{ei}) \leq R_p \cdot \gamma_c / \gamma_n, \quad (46)$$

де R_s - розрахунковий опір валика з відповідної сталі на зріз;

R_p - розрахунковий опір сталі фасонки на змінання;

γ_c - коефіцієнт умов роботи.

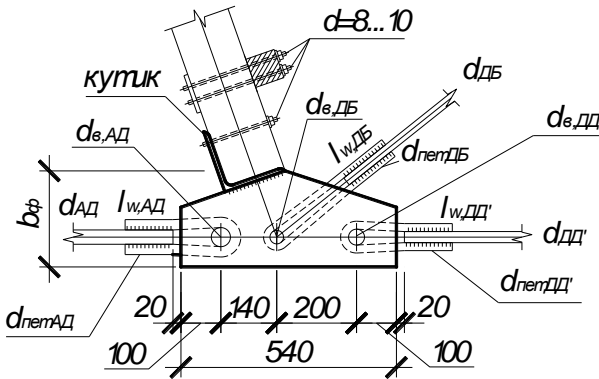


Рис. 4. Конструкція проміжного вузла нижнього поясу

Діаметри валиків змінюють при не виконанні умов (45) та (46). В останньому випадку можна також змінювати товщину фасонки.

Найменшу ширину фасонки (в місці послаблення найбільшими отворами) визначають по зусиллю в найбільш навантаженому сталевому тяжі за формулою

$$b_{\phi, \min} = d_{ei, \max} + N_{i, \max} \cdot \gamma_n / (2 \cdot t_\phi \cdot R_y \cdot \gamma_c). \quad (47)$$

Остаточну ширину фасонки приймають не меншою за мінімальне $b_{\phi, \min}$ та конструктивне $b_{\phi, \kappa} = 2 \cdot 1,5 \cdot d_{ei, \max}$ значення.

Мінімальну довжину зварних швів для кріплення петель до відповідних тяжів із круглих стержнів обчислюють при $k_f \geq 4$ мм за виразом

$$l_{w, i} = N_i / (2 \cdot k_f \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c) + 1 \dots 2 \text{ см}. \quad (48)$$

Оскільки в стояку діють стискуючі зусилля, то його впирають у відповідний кутик, приварений до фасонки, та закріплюють двома болтами діаметром $d = 8...10\text{мм}$ (рис. 4).

4.5.3. Проміжний вузол верхнього поясу

Зусилля від елемента N_{AB} на елемент N_{BB} передається лобовим упором через площадку зминання, висота якої повинна бути більша $h_p = h - 2 \cdot e \geq h_{p,max}$. Стик у вузлі рекомендується перекривати двома дерев'яними накладками перерізом $150 \times 75\text{мм}$ довжиною 840мм на болтах діаметром $d = 8...10\text{мм}$.

Зусилля від стояка передається на верхній пояс через торцеві упори. Накладки з брусів $150 \times 75\text{мм}$ довжиною 350мм та болти діаметром $d = 8...10\text{мм}$ приймаються з конструктивних міркувань (рис. 5).

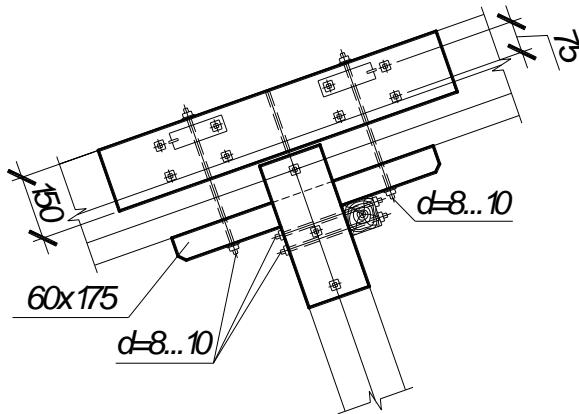


Рис. 5. Конструкція проміжного вузла верхнього поясу

4.5.4. Гребневий вузол

Розрахункові зусилля N_{BB} N_{DB} Зусилля від одного елемента на другий передаються лобовим упором через дубову підкладку

перерізом $h_p \times h_p$ довжиною b . Розміри дубової підкладки приймаються таким чином, щоб конструкція вузла забезпечувала:

- а) необхідний розмір площадок зминання її торця ($h_p \geq h_{нec}$);
- б) перетинання ліній дії зусиль у всіх елементах в одній точці з розрахунковим ексцентриситетом e ;
- в) розміщення траверс для кріплення розкосів.

Траверси рекомендується влаштовувати із швелера №6,5...8, стінка якого слід посилювати листом товщиною $6...8\text{мм}$ і шириною 50мм (рис. 6). Для об'єднання траверс варто використати лист коритоподібної форми товщиною $8...10\text{мм}$ та шириною $b_{mp} = 3 \cdot h_p$. Їх розрахунок виконують, по аналогії з траверсою в опорному вузлі, як балочного елемента з розрахунковим прольотом, рівним відстані між вітками (тяжами) розкосу

$$l_{mp,o} = b + 3 \cdot d_{ДБ}. \quad (49)$$

Розрахунковий згинаючий момент в траверсі визначають від відповідного зусилля $N_{ДБ}$ за формулою (30).

Основні геометричні характеристики траверси слід визначати за формулами (31)...(35), приймаючи при цьому відстань від центра ваги зведеного перерізу до центра ваги посилюючого листа за формулою

$$a_{л1} = b + \frac{t_{л2}}{2} - \frac{t_{л1}}{2} - z_o - t_w. \quad (50)$$

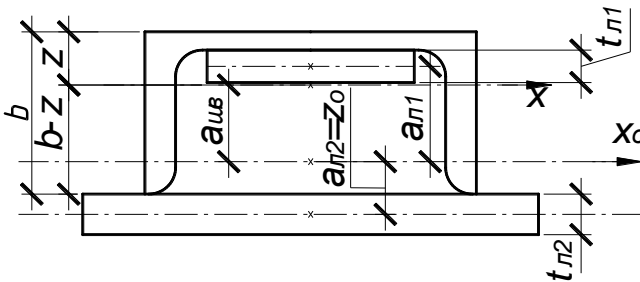


Рис. 6. До визначення геометричних характеристик перерізу траверси в гребеневому вузлі

Достатність попередньо прийнятих розмірів траверси в цілому та товщини опорного листа зокрема необхідно перевіряти по формулах (36)...(40) за відповідним зусиллям $N_{ДБ}$.

Швелери і лист, що має коритоподібну форму і є спільним для обох траверс, слід зварювати між собою кутовим швом з катетом $k_f \geq 4 \text{ мм}$. До зазначеного листа рекомендується кріпити двома болтами діаметром $d = 8...10 \text{ мм}$ дубову прокладку та вертикальну підвіску з круглої сталі діаметром $d = 12...16 \text{ мм}$ (рис. 7).

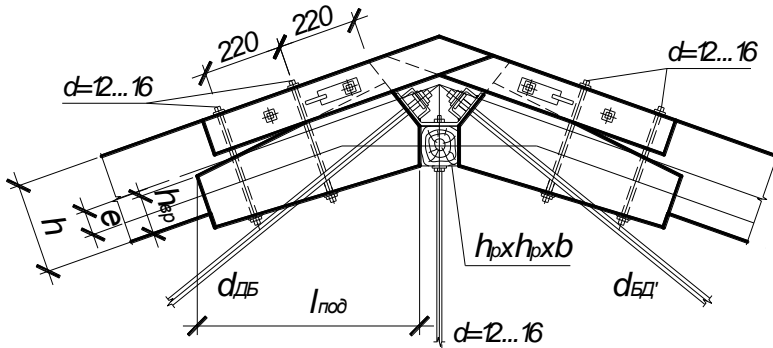


Рис. 7. Конструкція гребеневого вузла ферми

В гребеновому вузлі використовують подушки того ж самого перерізу $h \times b$ і тої ж довжини l_{nod} , що і в опорному вузлі, з їх врубкою в бруси верхнього поясу на глибину $h_{вр}$. Лист траверси слід приймати шириною h_p , щоб забезпечити необхідний розмір площадки змінання торця подушки $h_p > h_{p,max}$.

5. Питання гарантованого рівня знань

1. Деревина як конструкційний матеріал.
2. Листяні та хвойні породи деревини.
3. Будова деревини.
4. Цільна деревина.
5. Перерахуйте фізичні властивості деревини.

6. Вплив вологості на фізичні та механічні властивості деревини.
7. Вплив температури на фізичні та механічні властивості деревини.
8. Які є механічні властивості деревини?
9. Міцність деревини.
10. Характеристичне значення міцності деревини.
11. Розрахункові характеристики міцності матеріалів.
12. Модуль пружності деревини.
13. Вплив віку на фізичні та механічні властивості деревини.
14. Сортамент будівельної деревини.
15. Які є переваги і недоліки використання деревини в будівництві?
16. Вплив різних факторів на механічні властивості деревини.
17. Модифікована деревина.
18. Способи модифікації деревини.
19. Захист деревини від гниття та горіння.
20. Види з'єднань елементів дерев'яних конструкцій.
21. Класифікація з'єднань.
22. З'єднання на цвяхах.
23. Особливості розрахунку з'єднання на цвяхах.
24. Болтові з'єднання.
25. Особливості розрахунку болтові з'єднань.
26. Клеєні з'єднання.
27. Особливості розрахунку клеєних з'єднань.
28. Матеріали з клеєного шпону.
29. Особливості процесу виготовлення елементів та конструкцій з деревини.
30. Особливості сортування пиломатеріалів.
31. Механічна обробка деревини.
32. Підготовка матеріалів, виробів та елементів до сушіння.
33. Особливості сушіння деревини.
34. Особливості виготовлення клеєних елементів та конструкцій.
35. Особливості приготування та нанесення клеїв.
36. Процес склеювання елементів та конструкцій з деревини.
37. Контроль якості клеєних конструкцій з деревини.
38. Класифікація дерев'яних конструкцій.
39. За якими групами граничних станів розраховують конструкції з деревини?

40. Особливості розрахунку за I групою граничних станів.
41. Особливості розрахунку за II групою граничних станів.
42. Навантаження та діяння, сполучення навантажень.
43. Характеристичні та розрахункові значення несучої здатності.
44. Назвіть основні характеристики матеріалів.
45. Класифікація дерев'яних конструкцій.
46. За якими групами граничних станів розраховують конструкції з деревини?
47. Особливості розрахунку за I групою граничних станів.
48. Особливості розрахунку за II групою граничних станів.
49. Навантаження та діяння, сполучення навантажень.
50. Характеристичні та розрахункові значення несучої здатності.
51. Назвіть основні характеристики матеріалів.
52. Класифікація балок з деревини.
53. Особливості розрахунку балок з деревини.
54. Класифікація колон з деревини.
55. Особливості розрахунку колон з деревини.
56. Класифікація ферм з деревини.
57. Особливості розрахунку ферм з деревини.

6. Порядок оцінювання програмних результатів навчання

Для досягнення цілей та завдань курсу студентам потрібно засвоїти теоретичний матеріал, вчасно виконати практичні завдання та здати модульні контролю знань. В результаті можна отримати такі обов'язкові бали:

- по 60 балів – за вчасне та якісне виконання завдань практичних занять (поточна практична складова оцінки);

- по 40 балів – на модульних контролях.

Усього – по 100 балів.

40 балів на модульних контролях здобувач може набрати пройшовши тестування за кожним змістовим модулем (МК1, МК2– по 20 балів).

Поточна складова оцінки (у межах 60 балів) крім наведених вище балів за вчасне та якісне виконання практичних занять може включати додаткові бали оригінальні рішення, конкретні пропозиції з удосконалення змісту навчальної дисципліни тощо.

Критерії оцінювання практичних завдань розроблено згідно наказу №636 НУВГП від 13.09.2024 року.

7. Рекомендована література

1. Гомон С. С. Конструкції із дерева і пластмас : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2016. 219 с.

2. Гавриляк А. І., Петренко О. В., Парнета Б. З., Віхоть С. І., Гомон Св. Св. Основи технічної експлуатації будівель і споруд : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2023. 286 с.

3. Лінда С. М. Проектування громадських будівель і споруд. Львів, 2013. 644 с.

4. Гомон Св. Св., Ясній П. В., Гомон П. С., Ясній В. П. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьовим стиском вздовж волокон : монографія. Рівне: Волинські обереги, 2023. 316 с.

5. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К. : Мінрегіон України, 2017. 111 с.

6. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016. Настанова з проектування будівельних конструкцій з цільної і клеєної деревини. К. : Мінрегіон України, 2016. 35 с.

7. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 30 с.

8. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. К. : Мінрегіон України, 2019. 177 с.

9. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2006. 75 с.