

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та
цивільна інженерія, освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Проектування дерев'яних конструкцій» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове і цивільне будівництво») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : А. М. Бідаков, О. М. Пустовойтова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 22 с.

Укладачі: д-р техн. наук А. М. Бідаков,
канд. техн. наук О. М. Пустовойтова

Рецензент

К. В. Спіранде, кандидат технічних наук, професор кафедри будівельного проектування Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою будівельного проектування, протокол № 5 від 5 лютого 2024 р.

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове і цивільне будівництво». Подано основи розрахунку дерев'яних конструкцій, засоби та послідовність виконання розрахунку, список рекомендованих джерел, наведено приклади розрахунку.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ.....	5
2 ЗМІСТ КУРСУ «ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ».....	5
3 ТЕМИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З КУРСУ «ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ».....	6
3.1 Розрахунок однозрізного з'єднання деревини з деревиною без попередньо свердлених отворів.....	6
3.2 Складова балка з деревини та фанери, з'єднана степлерними скобами.....	9
3.3 Розрахунок двозрізного з'єднання деревини з деревиною дюбелі DIN1052.....	12
3.4 Посилення прямокутної підрізки балки на опорі гвинтами.....	14
3.5 Розрахунок міцності цвяхового з'єднання з металевою пластиною у разі можливого руйнування вставкою.....	15
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	18
ДОДАТКИ	19

ВСТУП

Конструкції з дерева є одним з основних видів несучих будівельних конструкцій. Дерев'яні конструкції мають необхідну міцність і порівняно невелику масу. Їхнє виготовлення, транспортування та монтаж не потребують значних трудових витрат і потужних механізмів. Дерев'яні конструкції надійні і у разі правильної експлуатації достатньо довговічні. У будівництві застосовують балки, прогони, стояки, крокви, арки, рами, ферми, просторові великопрольотні і спеціальні конструкції.

Дерев'яні конструкції застосовують у тваринницьких приміщеннях і складах, у покриттях спортивних та видовищних будівель, у промислових будівлях, збірному домобудівництві, малопрольотних мостах та в ряді інших споруд.

Нові синтетичні клеї, які мають високу міцність і стійкість, дозволяють виготовляти водостійку будівельну фанеру і створювати клеєні дерев'яні конструкції практично будь-яких необхідних форм і розмірів. Зберігають своє значення також конструкції із суцільних дерев'яних стержнів.

Головним шляхом забезпечення сучасного будівництва високоякісними дерев'яними конструкціями є їхнє масове заводське виготовлення з наступним збиранням на будівельних майданчиках. Найбільше відповідають умовам заводського виробництва клеєні дерев'яні конструкції. Процес їхнього виготовлення легко механізується і автоматизується, потребує мінімальних витрат ручної праці.

Зберігає своє значення також будівельне виготовлення нескладних дерев'яних конструкцій у невеликих об'ємах поблизу місць їхньої установки. У районах, які не мають заводського виробництва дерев'яних конструкцій, наприклад, у сільській місцевості, використання таких конструкцій економічно ефективно.

Застосування у будівельному виробництві сучасних конструкцій з дерева дозволить прискорити темпи зведення будівель та споруд, значно підвищити ефективність капітальних вкладень у будівництві.

1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ

Дисципліна «Проектування дерев'яних конструкцій» вивчається здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання і складається з таких видів занять.

У студентів денної форми навчання у 5 семестрі: курс лекцій (теоретичний матеріал) – 32 годин; практичні заняття – 32 годин; самостійна робота – 56 годин.

2 ЗМІСТ КУРСУ «ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

Змістовий модуль 1 Властивості деревини. Розрахунок елементів дерев'яних конструкцій.

Вивчається конструкційні характеристики деревини, лісова сировинна база України, породи, які використовуються у будівництві, макро- і мікроструктура деревини, позитивні та негативні властивості, фізичні та механічні властивості, захист дерев'яних конструкцій від гниття та горіння. Розглядаються основи розрахунку дерев'яних конструкцій за граничними станами, робота деревини на різні види напружено деформованого стану: розтяг, стиск, згин, зминання, сколювання.

Змістовий модуль 2 З'єднання елементів дерев'яних конструкцій. Плоскі розпірні конструкції.

Вивчається з'єднання елементів дерев'яних та пластмасових конструкцій. Розглядаються види, особливості статичного розрахунку, вузли плоских розпірних конструкцій (дерев'яні і фанерні арки і рами). Розглядаються просторові пневматичні конструкції, їхня класифікація, позитивні та негативні властивості, особливості роботи.

Змістовий модуль 3 Просторові та пневматичні конструкції. Виготовлення та експлуатація конструкцій з дерева.

Розглядаються просторові та пневматичні конструкції, їхня класифікація і характеристика, особливості роботи (клеєні з дощок балки, фанерні балки з

плоскою і хвилястою стінкою; гнучо клеєні балки; армовані балки; балки на пластичних нагелях). Вивчаються процес виготовлення та експлуатація конструкцій з дерева.

3 ТЕМИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З КУРСУ «ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

3.1 Розрахунок однорізного з'єднання деревини з деревиною без попередньо свердлених отворів

Розтягнутий стик двох стрижнів із двосторонніми накладками із хвойної деревини класу міцності С50. Клас використання 2 і тривале навантаження. Діаметр цвяхів приймається рівним 4,2 мм (рис. 1).

Необхідно визначити несучу здатність з'єднання при розтягувальній силі величиною максимальної сили, що розтягує, якщо враховувати, що характеристичне значення несучої здатності при розтягувальних напруженнях якого-небудь нагеля становить $F_{ax,Rk} = 500$ Н.

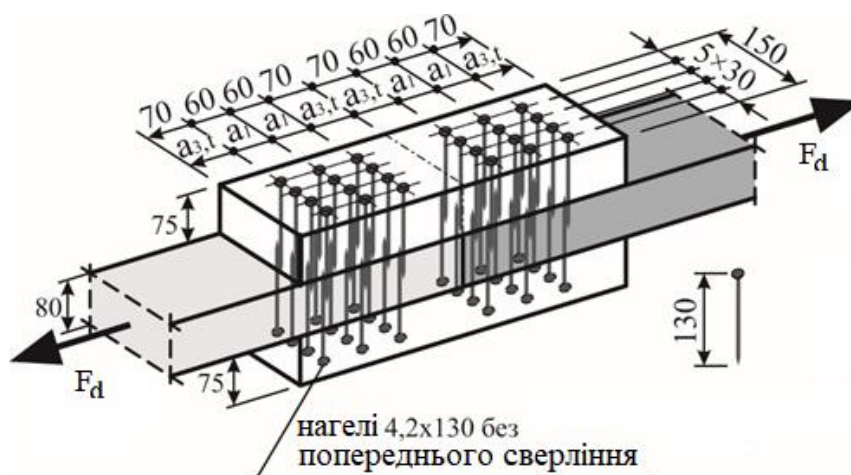


Рисунок 1 – Однорізне з'єднання деревини з деревиною без попередньо свердлених отворів

Перевірка геометрії

Мінімальна товщина деревини, щоб уникнути розколювання

$$t = 14 \cdot d = 14 \times 4,2 = 58,8 \text{ мм} < 75 \text{ мм.}$$

Перевірка межі напустку цвяхів у з'єднанні

$$(t_2 - l = 80 - 55 = 25 \text{ мм}) > (4 \cdot d = 4 \times 4,2 = 16,8 \text{ мм}) \text{ (табл. 1)}$$

Таблиця 1 – Розташування цвяхів

Від- стань	Положення за $\alpha = 0^\circ$	Мінімальне для $d = 4,2 \text{ мм}$	Прийняте значення
a ₁	$(5 + 7 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 12 \cdot d$	51	60 мм
a ₂	$5 \cdot d$	21	60 мм
a _{3,t}	$(10 + 5 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	63	70 мм
a _{3,c}	—	—	—
a _{4,t}	—	—	—
a _{4,c}	$5 \cdot d$	21	30 мм

Мінімальна глибина з'єднання: $t_{req} = 10 \cdot d = 42 \text{ мм}$.

Товщина накладки:

$$t_1 = 75 \text{ мм} > t_{req}$$

Товщина стержня:

$$t_2 = 80 \text{ мм} > t_{req}$$

Характеристичне значення міцності стінок отвору та моменту плинності:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 460 \cdot 4,2^{-0,3} = 24,5 \text{ Н/мм}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 600 \cdot 3,4^{2,6} = 7512 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Мінімальна здатність одного з'єднувального елемента на одну площину зрізу для однозрізних з'єднань (з урахуванням розтягувальної сили $F_{ax,Rk}$):

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} t_2 d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,5 \cdot 80 \cdot 4,2 = 8232 \\ 0,5 \cdot 24,5 \cdot 55 \cdot 4,2 = 2830 \\ 1,05 \cdot \frac{8232}{2+1} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1+1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2+1) \cdot 7512}{8232 \cdot 4,2}} - 1 \right] + \frac{500}{4} = 4648 \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1+1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 7512 \cdot 24,5 \cdot 55 \cdot 4,2} + \frac{500}{4} = 10729 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 2830 H$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 2830}{1,3} \cong 1524 H .$$

Максимальна сила F_d , що розтягує, напруженість нагелів під час розтягування не враховується

$$\frac{a_1}{d} = \frac{60}{4,2} = 14,3 \rightarrow k_{ef} = 1 \rightarrow n_{ef} = n^{k_{ef}} = 3^1 = 3 ,$$

Напруження зрізу якоїсь поверхні зрізу (24 нагелів, якоїсь поверхні зрізу).

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{n \cdot m \cdot p} = \frac{12000 N}{24} = 500 H$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{500}{1524} = 0,33 \leq 1$$

$$F_d = 12000 < 24 \cdot F_{v,Rd} = 24 \cdot 1524 = 36576 H .$$

Несуча здатність деревини в місцях з'єднань:

Оскільки діаметр використовуваних у розрахунку цвяхів $d < 6$ мм без попереднього свердління отворів, то аналізований поперечний переріз приймається як не ослаблений.

Міцність розтягнутого стержня:

$$(b = 80 \text{ мм}) < 150 \text{ мм} \rightarrow k_h = 1,134$$

$$f_{t,0,d} = k_h \cdot \frac{0,7 \cdot f_{t,0,k}}{1,3} = 1,134 \cdot \frac{0,7 \cdot 30}{1,3} = 18,3 H / \text{мм}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{F_d}{A_n} = \frac{138648}{80 \cdot 150} = 0,63 < 1 .$$

Міцність зовні розміщених накладок. Нагелі встановлені без попереднього свердління отворів:

$$(b = 75 \text{ мм}) < 150 \text{ мм} \rightarrow k_h = 1,15$$

$$f_{t,0,d} = k_h \cdot \frac{0,7 \cdot f_{t,0,k}}{1,3} = 1,15 \cdot \frac{0,7 \cdot 30}{1,3} = 18,6 \text{ Н/мм}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{138648}{2 \cdot 75 \cdot 150}}{18,6} = 0,33 < 1.$$

Перевірка DIN з урахуванням нерівномірної навантаженості бічних накладок:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{\frac{2}{3} \cdot f_{t,0,d}} = \frac{\frac{138648}{2 \cdot 75 \cdot 150}}{\frac{2}{3} \cdot 18,6} = 0,49 < 1.$$

3.2 Складова балка з деревини та фанери, з'єднана степлерними скобами

Однопрогонова балка, навантажена постійною рівномірно розподіленим навантаженням. Балка розкріплена із площини. Як з'єднальний елемент застосовуються скоби з оцинкованого сталевого дроту діаметром 1,5 мм та довжиною $l = 50$ мм. Ширина спинки скоби $b = 10$ мм. Міцність цього типу скоб під час розтягування становить $f_{u,k} = 1\,000$ Н/мм². Розрахунковий опір на зріз стержня скоби становить $F_{v,Ed} = 145$ Н (рис. 2).

Балка.

Клас міцності деревини: С40.

Поперечний переріз: 170×50 мм.

Фанерна плита.

Клас міцності: F50/25 E70/25.

Товщина: $t = 20$ мм.

Щільність: $\rho_k = 600$ кг/м³.

Клас використання 2 і клас тривалості застосування навантаження тривалий.

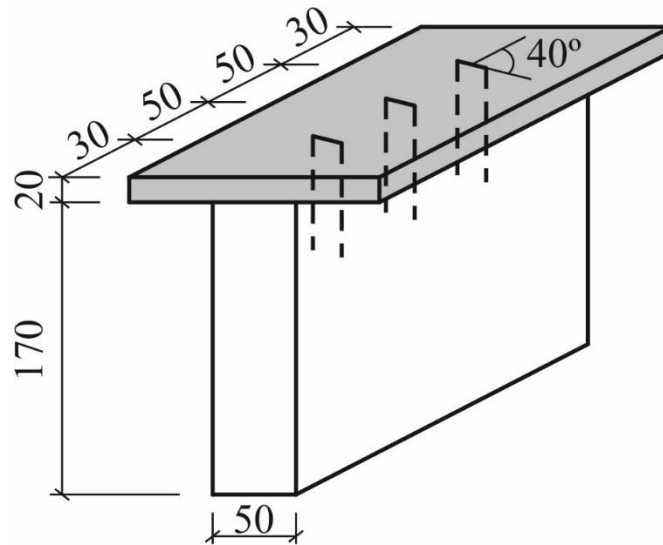


Рисунок 2 – Складова балка з деревини та фанери, з’єднана степлерними скобами

Таблиця 2 – Розташування скоб

Від- стань	Розташування за $\alpha = 0^\circ$	Мін. за $d = 1,5 \text{ мм}$	Прийняте розташування
a_1	$(10 + 5 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 15 \cdot d$	22,5	50 мм
a_2	–	–	–
$a_{3,t}$	$(15 + 5 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 20 \cdot d$	30	30 мм
$a_{3,c}$	–	–	–
$a_{4,t}$	–	–	–
$a_{4,c}$	$10 \cdot d = 10 \cdot d$	15	25 мм

Під час визначення несучої здатності робота скоб під час розтягування не враховується. Розмір затискання в балку становить $t_2 = 30 \text{ мм} > 14 \cdot d = 21 \text{ мм}$, отже глибина з’єднання достатня (табл. 2).

Міцність стінок отвору та момент плинності нагельного з’єднання деревини з деревним матеріалом:

$$f_{h,k} = f_{h,1,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot t^{-0,3} = 0,11 \cdot 600 \cdot 20^{-0,3} = 27,1 \text{ Н / мм}^2$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 420 \cdot 1,5^{-0,3} = 30,5 \text{ H / мм}^2$$

$$\beta = \frac{30,5}{27,1} = 1,13 \text{ H / мм}^2$$

$$M_{y,k} = 240 \cdot d^{2,6} = 240 \cdot 1,5^{2,6} = 689 \text{ Нмм}.$$

Несуча здатність якогось зсувного шва

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} t_2 d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{813}{1 + 1,13} \cdot \left[\sqrt{1,13 + 2 \cdot 1,13^2 \cdot \left[1 + \frac{30}{20} + \left(\frac{30}{20} \right)^2 \right] + 1,13^3 \cdot \left(\frac{30}{20} \right)^2} - 1,13 \cdot \left(1 + \frac{30}{20} \right) \right] = 452,8 \\ 1,05 \cdot \frac{813}{2 + 1,13} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,13 \cdot (1 + 1,13) + \frac{4 \cdot 1,13 \cdot (2 + 1,13) \cdot 689}{813 \cdot 20}} - 1,13 \right] = 325,1 \\ 1,05 \cdot \frac{27,1 \cdot 30 \cdot 1,5}{1 + 2 \cdot 1,13} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,13^2 \cdot (1 + 1,13) + \frac{4 \cdot 1,13 \cdot (1 + 2 \cdot 1,13) \cdot 689}{27,1 \cdot 1,5 \cdot 30^2}} - 1,13 \right] = 495,6 \\ 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,13}{1 + 1,13}} \cdot \sqrt{2 \cdot 689 \cdot 27,1 \cdot 30 \cdot 1,5} = 1542,6 \end{array} \right.$$

Приймаємо $F_{v,Rk} = 325,1 \text{ Н}$.

Несуча здатність якогось зсувного шва з'єднання:

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2}} = \sqrt{0,7 \cdot 0,7} = 0,7$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_m} = \frac{0,7 \cdot 325,1}{1,3} = 175,1 \text{ Н} \rightarrow \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{267}{321} = 0,83 < 1$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{145}{175,1} = 0,83 < 1 .$$

3.3 Розрахунок двозрізного з'єднання деревини з деревиною дюбелі DIN1052

Стик двох стержнів із клеєної деревини класу міцності Gl24h навантажений силою, що розтягує $F_d = 32$ кН. Клас використання 2 та клас тривалості докладання навантаження – короточасний. Діаметр дюбелів 20 мм (рис. 3).

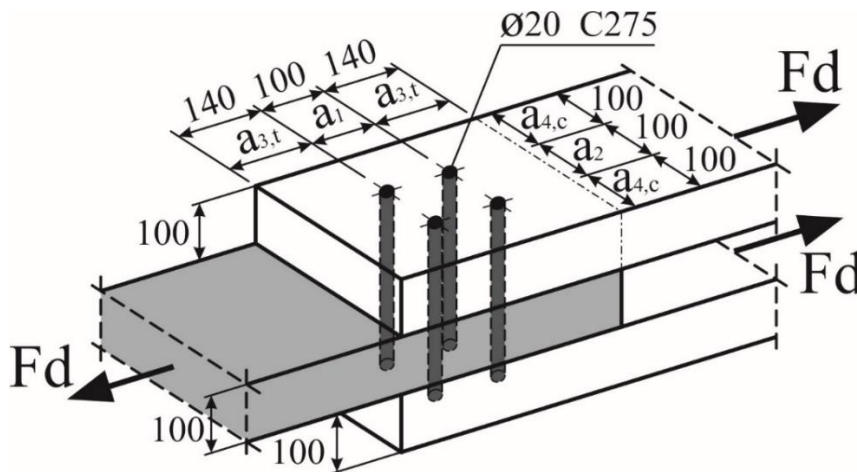


Рисунок 3 – З'єднання деревини з деревиною за допомогою дюбелів

Розрахунок зсувного шва дюбелів

Визначаємо характеристичне значення міцності стінок отвору та моменту плинності.

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 380 = 24,9 \text{ Н/мм}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 430 \cdot 20^{2,6} = 311364 \text{ Нмм}$$

Приймаємо $f_{u,k} = 430$ Н/мм² (додаток Б)

Характеристичне значення несучої здатності зсувного шва:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} t_2 d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. =$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,9 \cdot 100 \cdot 20 = 49800 \text{ N} \\ 0,5 \cdot 24,9 \cdot 100 \cdot 20 = 24900 \text{ N} \\ 1,05 \cdot \frac{24,9 \cdot 100 \cdot 20}{2 + 1} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 + 1) \cdot 311364}{24,9 \cdot 20 \cdot 100^2}} - 1 \right] = 20916 \text{ H} \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 311364 \cdot 24,9 \cdot 100 \cdot 20} = 287046 \text{ N} \end{array} \right.$$

Приймаємо $F_{v,Rk} = 20\,916 \text{ Н}$.

Розрахункове значення несучої здатності дюбеля становить:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 20916}{1,3} = 14481 \text{ H}$$

Розрахункове значення навантаження якоїсь поверхні зсуву дюбеля:

$$F_{v,Ed} = \frac{32000}{4 \cdot 2} = 4000 \text{ H}$$

(4 дюбелі в якійсь одній зсувній поверхні).

Визначення несучої здатності поверхні зсуву дюбеля у напрямку дії сили

(n_{ef} / n) = 0,735 (табл. 4).

$$\frac{F_{v,Ed}}{(n_{ef} / n) \cdot F_{v,Rd}} = \frac{4000}{0,735 \cdot 14481} = 0,38 < 1$$

Таблиця 4 – Розташування дюбелів

Від ста нь	Положення за $\alpha = 0^\circ$	Мін. за $d = 16 \text{ мм}$	Приймається розташування
a1	$(3 + 2 \cdot \cos\alpha) \cdot d = 5 \cdot d$	100	100 мм
a2	$3 \cdot d$	60	100 мм
a3,t	$\max(7 \cdot d; 80 \text{ мм})$	140	140 мм
a4,c	$3 \cdot d$	60	100 мм

Визначення несучої здатності деревини у місцях стику

На монтажі під дюбелі, що встановлюються, виконується попереднє свердління отворів, які послаблюють перетин і його необхідно перевірити.

$$f_{t,0,d} = 16,5 \text{ Н / мм}^2$$

Площа поперечного перерізу нетто:

$$A_n = 100 \cdot (300 - 2 \cdot 20) = 26000 \text{ мм}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{F_d}{A_n}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{32000}{26000}}{16,5} = \frac{1,23}{16,5} = 0,08 \leq 1$$

3.4 Посилення прямокутної підрізки балки на опорі гвинтами

Прямокутне підрізування на опорі балки з клеєної деревини висотою 600 мм необхідно підсилити гвинтами з різьбленням по всій довжині гвинта. Розрахункове значення поперечної сили на опорі становить $V_d = 60$ кН. Необхідно перевірити міцність балки з урахуванням посилень. Клас використання 2 та клас тривалості застосування навантаження – короткочасний (рис. 4).

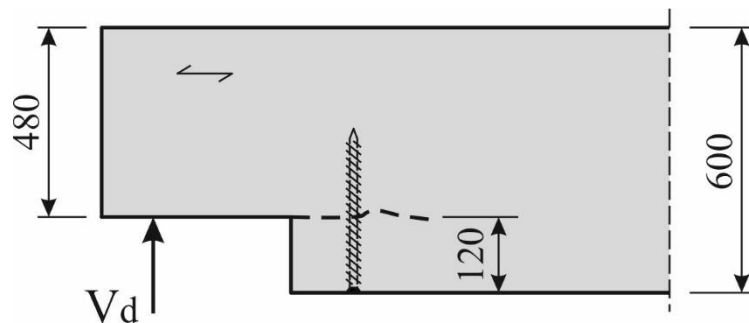


Рисунок 4 – Посилення прямокутної підрізки балки на опорі гвинтами

Розтягувальна сила поперек волокон:

$$\alpha = h_e/h = 480/600 = 0,8.$$

$$F_{t,90,d} = 1,3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1-\alpha)^2 - 2(1-\alpha)^3] = 1,3 \cdot 60 \cdot [3 \cdot (1-0,8)^2 - 2(1-0,8)^3] = 8100 \text{ Н}$$

Для посилення підрізування застосовуються повнорізьбові гвинти Rothoblaas VGZ 9*320 мм (див. дод. А):

$$d = 9 \text{ мм}$$

$$l_{ef} = 120 \text{ мм.}$$

Міцність гвинта на висмикування, встановленого поперек волокон:

$$f_{ax,k} = \frac{0,52}{\sqrt{d}} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8} = \frac{0,52}{\sqrt{9}} \cdot 120^{-0,1} \cdot 380^{0,8} = 32,6 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_d = \min(1; d/8) = 1$$

$$n_{ef} = n_{0,9} = 10,9 = 1.$$

Характеристичне значення міцності гвинта на висмикування:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{1 \cdot 32,6 \cdot 9 \cdot 120 \cdot 1}{1,2 \cdot \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 34860 \text{ Н}$$

Розрахункове значення міцності гвинта на висмикування:

$$F_{ax,\alpha,Rd} = 0,9 \cdot \frac{34860}{1,3} = 24134 \text{ Н}$$

Перевірка міцності посилення підрізування:

$$\frac{F_{t,90,d}}{F_{ax,\alpha,Rd}} = \frac{8100 \text{ Н}}{24134 \text{ Н}} = 0,34 < 1$$

Характеристичне значення міцності гвинта на розтягування:

$$f_{tens,k} = 25,4 \text{ кН (див. дод. А).}$$

Розрахункове значення міцності гвинта на розтягування:

$$f_{tens,d} = \frac{25,4}{1,2} = 21,2 \text{ кН}$$

Міцність гвинта на розтягнення забезпечена.

3.5 Розрахунок міцності цвяхового з'єднання з металевою пластиною у разі можливого руйнування вставкою

Елемент із цільної деревини класу міцності С30 ($f_{t,0,k} = 18 \text{ Н/мм}^2$, $f_{t,0,k} = 4 \text{ Н/мм}^2$) поперечним перерізом 300 мм × 150 мм навантажений вздовж волокон у цвяховому однорізному з'єднанні з тонким металом. Діаметр цвяхів

$d = 3,8$ мм, глибина забиття цвяхів $t_1 = 90$ мм, момент плинності цвяхів $M_{y,Rk} = 5\,790$ Нмм. Розрахункове значення сили, що розтягує $F_d = 20$ кН. Кількість ділянок упоперек волокон, що працюють на сколювання $n_v = 4$, кількість ділянок уздовж волокон, що працюють на розтягування $n_t = 3$. Відстань від кромки вздовж волокон $l_{v,1} = 80$ мм, відстань між цвяхами вздовж волокон $l_{v,i} = 40$ мм, відстань між цвяхами поперек волокон, $l_{t,i} = 40$ мм. Коефіцієнт перетворення $k_{mod} = 0,6$ (рис. 5).

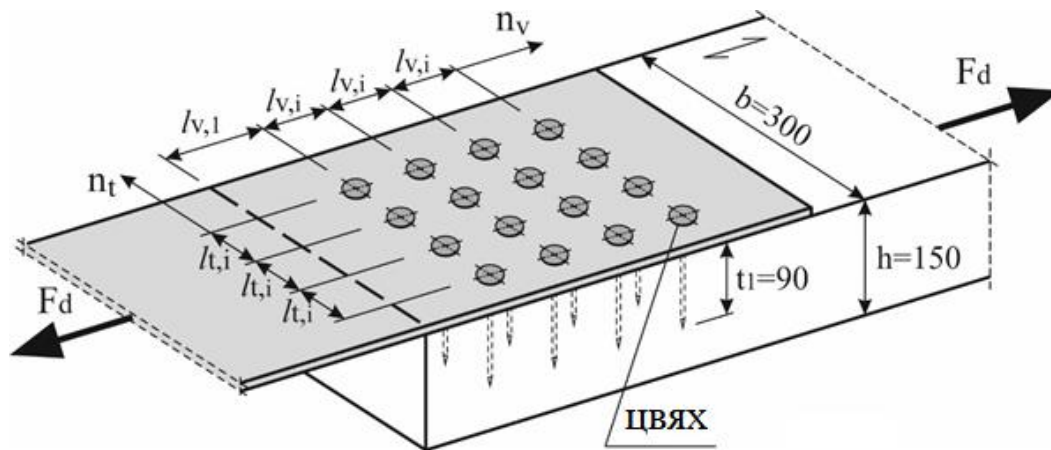


Рисунок 5 – Цвяхове з'єднання з металевою пластиною

Довжини ділянок деревини в з'єднанні, що працюють на зсув та розтягування:

$$L_{net,v} = 80 + 3 \times 40 = 200 \text{ мм}$$

$$L_{net,t} = 3 \times 40 = 120 \text{ мм.}$$

Міцність стінок отворів без попереднього свердління:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 3,8^{-0,3} = 20,9 \text{ Н / мм}^2$$

Ефективна глибина забивання цвяхів

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 \cdot t_1 \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \end{cases} = \begin{cases} 0,4 \cdot 90 \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{5790}{20,9 \cdot 3,8}} \end{cases} = \begin{cases} 36 \text{ мм} \\ 11,95 \text{ мм} \end{cases}$$

для $t_{ef} = 36$ мм.

Площі ділянок деревини в з'єднанні, що працюють на зсув та розтягування:

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 = 120 \times 90 = 10\,800 \text{ мм}^2.$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} \cdot t_1 \\ \frac{L_{net,v}}{2} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) \end{cases} = \begin{cases} 200 \cdot 90 \\ \frac{200}{2} \cdot (120 + 2 \cdot 36) \end{cases} = \begin{cases} 18000 \\ 19200 \end{cases} = 19200 \text{ мм}^2$$

Характеристичне значення міцності з'єднання з умови руйнування вставкою

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{cases} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot 10800 \cdot 18 \\ 0,7 \cdot 18000 \cdot 4 \end{cases} = \max \begin{cases} 291600 \\ 50400 \end{cases} = 50400 \text{ Н}$$

Розрахункове значення міцності з'єднання з умови руйнування вставкою

$$F_{bs,Rd} = \frac{F_{bs,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{50400 \cdot 0,6}{1,3} = 23262 \text{ Н}$$

Перевірка міцності:

$$\frac{F_d}{F_{bs,Rd}} = \frac{15000 \text{ Н}}{23262 \text{ Н}} = 0,65 < 1$$

для $t_{ef} = 11,95$ мм.

Площі ділянок деревини в з'єднанні, що працюють на зсув та розтягування:

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 = 120 \times 90 = 10\,800 \text{ мм}^2.$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} \cdot t_1 \\ \frac{L_{net,v}}{2} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) \end{cases} = \begin{cases} 200 \cdot 90 \\ \frac{200}{2} \cdot (120 + 2 \cdot 11,95) \end{cases} = \begin{cases} 18000 \\ 14400 \end{cases} = 14400 \text{ мм}^2$$

Характеристичне значення міцності з'єднання з умови руйнування вставкою:

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{cases} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot 10800 \cdot 18 \\ 0,7 \cdot 14400 \cdot 4 \end{cases} = \max \begin{cases} 291600 \\ 40320 \end{cases} = 40320 \text{ Н}$$

Розрахункове значення міцності з'єднання з умови руйнування вставкою:

$$F_{bs,Rd} = \frac{F_{bs,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{40320 \cdot 0,6}{1,3} = 18609 \text{ Н}$$

Перевірка міцності:

$$\frac{F_d}{F_{bs,Rd}} = \frac{15000 \text{ Н}}{18609 \text{ Н}} = 0,81 < 1$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General. Common rules and rules for buildings [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1995.1.1.2004.pdf>, free (application date: 05.05.2024). – Header from the screen.

2. Клименко В. З. Конструкції з дерева і пластмас [Електрон. ресурс] : підручник / В. З. Клименко. – Електрон. текст. дані. – Київ : Вища шк., 2000. – 304 с. – Режим доступу: <https://cadwork.in.ua/uchebnik-konstruktsii-iz-dereva-i-plastmass>, вільний (дата звернення 17.06.2024). – Назва з екрана.

3. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Конструкції будинків і споруд. [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2018–02–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : "Укрархбудінформ" – 117 с. – Режим доступу: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/V26-161.pdf>, вільний (дата звернення 17.06.2024). – Назва з екрана.

4. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2007–10–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 59 с. – Режим доступу: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/37.1.-DBN-V.1.2-22006.-SNBB.-Navantazhennya-i-vplyvi.-Nog.pdf>, вільний (дата звернення 17.06.2024). – Назва з екрана.

5. ДБН А.2.2-3-2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2014–10–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінбуд України, 2014 – 44 с. – Режим доступу: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/DBN-A.2.2-3-2014.pdf>, вільний (дата звернення 17.06.2024). – Назва з екрана.

6 ДБН А.1.1-94:2010. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення. [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2010–12–16. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінбуд України, 2010 – 38 с. – Режим доступу: https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/zmina-%E2%84%96-2-dbn-a.1.1-94_2010_removed.pdf, вільний (дата звернення 17.06.2024). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А
Властивості матеріалів

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта k_{mod} залежно від температурно-вологісного режиму (клас експлуатації) та тривалості дії

Матеріал	Клас експлуатації	Тривалість дії навантаження				
		постій- не (більше 10 років)	довге (6 міс. – 10 років)	середнє (1 тижд. – 6 міс.)	коротке (менше 1 тижня)	раптове
Цільна деревина, клеєна деревина, шпоновий брус (LVL), фанера	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9
ОСП або OSB	1 (OSB/2)	0,3	0,45	0,65	0,85	1,1
	1 (OSB/3) (OSB/4)	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1
	2 (OSB/3) (OSB/4)	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9

Таблиця А.2 – Класи експлуатації

Клас експлуатації	Роз'яснення		
	вологість елементів конструкції	температура експлуатації	відносна вологість повітря
1 (закриті приміщення, немає прямої дії кліматичних факторів)	≤ 12 %	+20 °С	≤ 65 %
2 (частково закриті приміщення, немає прямої дії кліматичних факторів)	≤ 20 %	+20 °С	≤ 85 %
3 (пряма дія атм. опадів)	> 20 %	>20 °С	> 85 %

Таблиця А.3 – Значень коефіцієнта γ_M

Тип матеріалу на основі деревини	γ_M
Цільна деревина, ДСП, ДВП, МДФ	1,3
Клеєна деревина	1,25
Шпоновий брус (LVL), фанера, ОСП або OSB	1,2

ДОДАТОК Б

Класи міцності деревини

Таблиця Б.1 – Характеристичні значення міцності цільної деревини хвойних порід (Н/мм²) згідно з EN 338:2009

Вид напруженого стану		Класи міцності								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35
(Н/мм ²)										
Згин	$f_{m,g,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35
Розтяг поперек	$f_{t,90,g,k}$	0,4								
Стиск вздовж	$f_{c,0,g,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25
Стиск поперек	$f_{c,90,g,k}$	2,0	2,2		2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
Зсув	$f_{v,g,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0			
(кН/мм ²)										
Середнє значення модуля пружності вздовж волокон	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13
Щільність (кг/м ³)										
Щільність	$\rho_{g,mean}$	350	370	380	390	410	420	450	450	460

Таблиця Б.2 – Характеристичні значення міцності та пружні характеристики клеєної деревини (Н/мм²) згідно з EN 14080:2013

Вид напруженого стану		Класи міцності							
		Gl24h	Gl24c	Gl28h	Gl28c	Gl30h	Gl30c	Gl32h	Gl32c
(Н/мм ²)									
Згин	$f_{m,g,k}$	24	24	28	28	30	30	32	32
Розтяг поперек	$f_{t,90,g,k}$	0,5							
Стиск вздовж	$f_{c,0,g,k}$	24	21,5	28	24	30	24,5	30	24,5
Стиск поперек	$f_{c,90,g,k}$	2,5							
Зсув	$f_{v,g,k}$	3,5							
(кН/мм ²)									
Середнє значення модуля пружності вздовж волокон	$E_{0,mean}$	11,5	11,0	12,6	12,5	13,6	10,8	14,2	13,5
Середнє значення модуля зсуву	$G_{0,5}$	0,54							
Щільність (кг/м ³)									
Щільність	$\rho_{g,mean}$	420	400	460	420	480	430	490	440

ДОДАТОК В
Характеристики деревини

Таблиця В.1 – Коефіцієнт деформативності k_{def}

Матеріал	Клас експлуатації		
	1	2	3
Цільна деревина, клеєна деревина, шпоновий брус (LVL)	0,6	0,8	2,0
ОСП або OSB (OSB/2)	2,25	–	–
(OSB/3, OSB/4)	1,5	2,25	–

Таблиця В.2 – Граничні величини прогинів

Вид елемента	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Балка на двох опорах	$l/300 - l/500$	$l/250 - l/350$	$l/150 - l/300$
Консольна балка	$l/150 - l/250$	$l/125 - l/175$	$l/75 - l/150$

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до самостійної роботи

з навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та
цивільна інженерія, освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»)*

Укладачі: **БІДАКОВ** Андрій Миколайович,
ПУСТОВОЙТОВА Оксана Михайлівна

Відповідальний за випуск *К. В. Спіранде*

Редактор *О. В. Михаленко*

Комп'ютерне верстання *О. М. Пустовойтова*

План 2024, поз. 51М

Підп. до друку 13.06.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 1,3.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.