



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

До друку
Перший проректор _____ Б. Є. БОДНАР
" ____ " _____ 2020

КОНСТРУКЦІЇ З ДЕРЕВА ТА ПЛАСТМАС

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Дніпро – 2020

УДК 624.011.1

Укладач:
д-р техн. наук, проф. *Д. О. Банніков*

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. *В. В. Кулябко* (ПДАБА),
д-р техн. наук, проф. *В. Д. Петренко* (ДНУЗТ)

Рекомендовано до друку МКФ ПЦБ (протокол № 7 від 03.04.2018).
Зареєстровано НМВ ДНУЗТ (реєстр. № 355/18-2 від 10.05.2018)

Конструкції з дерева та пластмас [Текст] : метод. рекомендації до виконання лабораторних робіт / уклад. : *Д. О. Банніков*; Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. *В. Лазаряна*. – Дніпро, 2020. – 39 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальну послідовність та особливості виконання лабораторних робіт із дисципліни «Конструкції з дерева та пластмас». Розглянуто роботу основних видів з'єднань та особливості їхнього випробовування.

Для самостійної роботи студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове і цивільне будівництво» під час опрацювання дисципліни «Конструкції з дерева та пластмас» та підготовки магістерських дипломних робіт.

Іл. 20. Табл. 21. Бібліогр.: 5 назв.

© Банніков Д. О., укладання, 2020
© Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. *В. Лазаряна*, редагування, оригінал-макет, 2020

ЗМІСТ

ВСТУПНІ ЗАУВАЖЕННЯ	3
ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ ТА ВИКОНАННЯ РОБІТ	4
Лабораторна робота № 1 З'ЄДНАННЯ НА ЛОБОВІЙ ВРУБЦІ	5
Лабораторна робота № 2 З'ЄДНАННЯ НА КЛЕЮ	14
Лабораторна робота № 3 З'ЄДНАННЯ НА ПЛАСТИНЧАСТИХ НАГЕЛЯХ	19
Лабораторна робота № 4 З'ЄДНАННЯ НА ЦВЯХАХ	27
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	35
ДОДАТОК А РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВИНИ	36
ДОДАТОК Б СОРТИ ДЕРЕВИНИ	39

ВСТУПНІ ЗАУВАЖЕННЯ

Ці методичні рекомендації присвячені практичному опрацюванню одного з базових розділів дисципліни «Конструкції з дерева та пластмас» – «З'єднання елементів». Під час його теоретичного вивчення всі викладені розрахункові та конструктивні положення можуть бути перевірені на практиці студентом особисто. Це дає змогу глибше та чіткіше зрозуміти роботу з'єднань елементів конструкцій з дерева, адже саме вони в більшості випадків визначають загальний рівень надійності та довговічності таких об'єктів. Лабораторні заняття формують у студента певні навички проведення експериментальних досліджень.

До лабораторного практикуму включено розгляд основних видів з'єднань конструкцій з дерева – лобової врубки, клейового з'єднання, нагельних з'єднань. Деякі з них вже практично не використовують у сучасних конструкціях. Проте на практиці продовжують експлуатувати багато об'єктів, побудованих ще в минулому сторіччі, які включають такі види конструктивних рішень. Тому ознайомлення з ними, на думку автора, не буде зайвим.

Щодо нормативної бази, на яку зорієнтовані лабораторні роботи, то нею, замість скасованих СНиП [1], є нещодавно введені в практику нові норми

ДБН [2], які також покликані замінити норми ДБН [3]. Тому всі необхідні позначення розмірів і характеристик наведено відповідно до нової європейської системи позначень.

ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ ТА ВИКОНАННЯ РОБІТ

Усі лабораторні роботи виконуються за єдиною схемою. Вона передбачає ознайомлення з установкою для випробування, обмір зразків, перевірку виконання конструктивних вимог до з'єднання, визначення розрахункових опорів деревини, теоретичний розрахунок руйнівного навантаження з'єднання, експериментальне визначення руйнівного навантаження з'єднання та співставлення отриманих результатів. Під час експерименту самі лабораторні зразки доводять до руйнування, що дає змогу встановити характер і вид отриманих пошкоджень.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен виконати певну підготовчу роботу. Вона передбачає ознайомлення за методичними вказівками із сутністю та змістом роботи, експериментальною установкою, а також приготування необхідних таблиць для запису показань приладів, сіток для побудови відповідних графіків.

До лабораторних робіт студента допускають тільки після інструктажу з охорони праці, про що він має особисто розписатися в спеціальному журналі. Увагу студента звертають на такі правила:

1. Пересуватися навчальною лабораторією необхідно обережно, без різких рухів, уважно дивлячись під ноги.
2. Під час проведення експерименту триматися на відстані не ближче ніж 2 м до лабораторної установки.
3. Не торкатися руками або іншими частинами тіла лабораторної установки, приладів, пускових кнопок, рубильників та дротів. Це дозволяють робити тільки тоді, коли цього вимагає проведення лабораторної роботи і під постійним наглядом викладача.
4. Без дозволу викладача не торкатися зруйнованих зразків після випробувань та не відламувати від них будь-які частини.

Під час проведення кожної лабораторної роботи студент повинен уважно та ретельно зафіксувати всі результати обмірів та випробувань, накреслити схеми установки та лабораторних зразків, а також зробити необхідні обчислення та побудувати потрібні графіки. Усі ці дані заносять до **окремого спеціального зошита** з виконання лабораторних робіт у вигляді звіту.

Неправильно або неохайно оформлений звіт повертають студенту для доопрацювання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

З'ЄДНАННЯ НА ЛОБОВІЙ ВРУБЦІ

Мета роботи: оцінити несучу здатність з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом.

Інструменти та прилади: індикатор годинникового типу (2 шт.), штангенциркуль, вологомір.

Схема установки

Установка для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом має вигляд, зображений на рис. 1.1. Вона складається з горизонтального елемента 1, похилого елемента 2, вкладиша 3, двох вимірювальних індикаторів годинникового типу 4 та двох опорних елементів 5. У горизонтальному елементі зроблено фігурний виріз, що і є врубкою. Основним її елементом є робоча площадка 6. Похилий елемент має зрізану грань і формує зуб, який передає зусилля врубці через цю робочу площадку. Осі горизонтального і похилого елементів перетинаються в одній точці з віссю опорного елемента, що унеможливорює виникнення згинального моменту. Зверху на вкладиш прикладають зусилля стиску від пресу, в якому розміщена установка (рис. 1.2).

Обмір елементів

Після ознайомлення з установкою для випробувань виконують обмір елементів із точністю до 0,1 мм та визначають необхідні розрахункові параметри, які заносять у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Результати обмірів

Величина	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Ширина перерізу горизонтального елемента	b	мм	
Висота перерізу горизонтального елемента	h	мм	
Довжина площадки сколювання врубки	l_v	мм	
Глибина врубки	h_{fr}	мм	
Кут нахилу похилого елемента	α	град	
Вологість у приміщенні для випробування	W	%	
Матеріал горизонтального елемента	—	—	

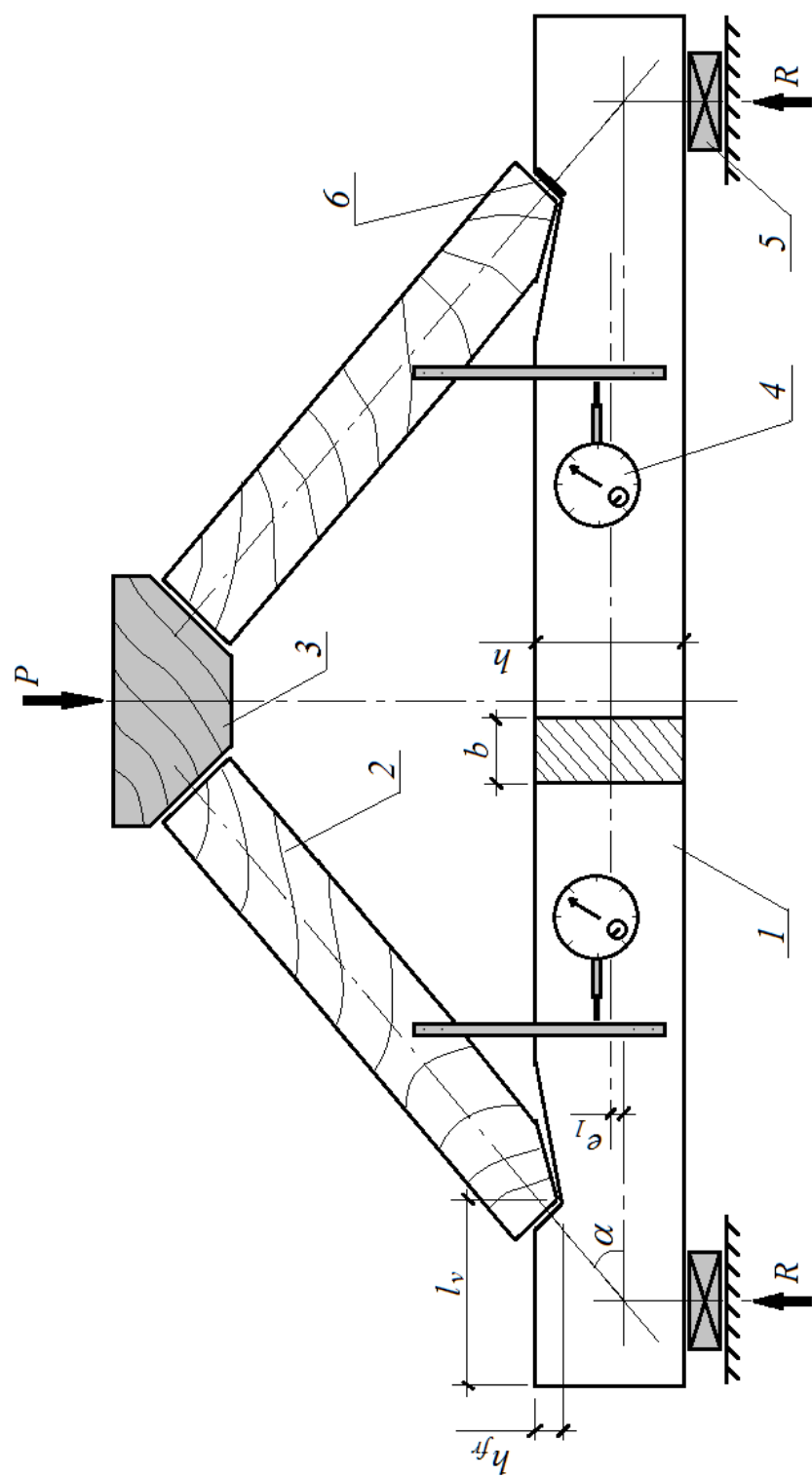
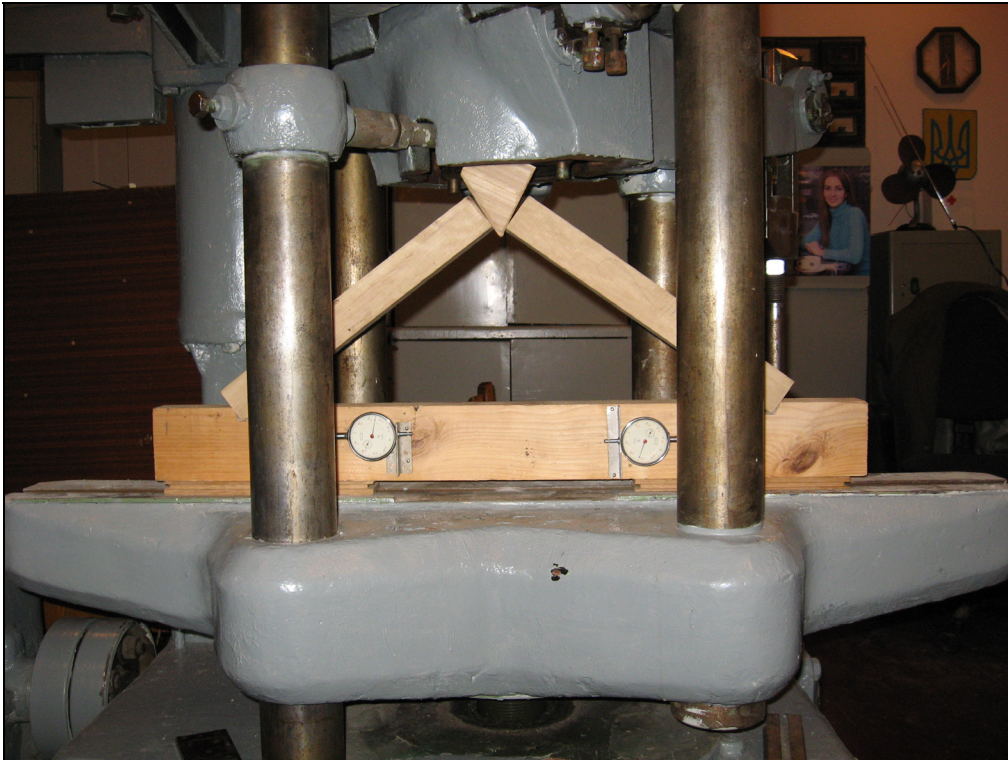


Рис. 1.1.1. Установка для випробування з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом

а



б



Рис. 1.2. Загальний вигляд установки для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом:
а – фронтальний вигляд; *б* – вигляд збоку

Конструктивні вимоги

До основних конструктивних вимог, що висувають до лобових врубок з одним зубом, відповідно до дод. К ДБН [2], відносять такі:

- 1) робоча площадка врубки повинна бути перпендикулярною до осі похилого елемента;
- 2) вісь похилого елемента повинна проходити по центру робочої площадки врубки;
- 3) кут нахилу похилого елемента має бути в межах $20\text{--}30^\circ$;
- 4) довжина площадки сколювання врубки має становити $l_v \leq 1,5h$;
- 5) глибина врубки має бути в межах $2\text{ см} \leq h_{fr} \leq \frac{1}{3}h$.

Виконання вимог 1 і 2 перевіряють якісно, а вимог 3–5 – кількісно.

Розрахункові опори

Розрахункові опори деревини визначають за виразом (6.1) ДБН [2]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} k_{\text{mod}}, \quad (1.1)$$

де f_k – характеристичне значення опору деревини за табл. Б.1 ДБН [2] (витяг наведений у табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій). Обрані значення заносять до табл. 1.2;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом за табл. 6.1 ДБН [2] (табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій);

k_{mod} – коефіцієнт перетворення за табл. А.1 дод. А ДБН [2] (табл. А.3 дод. А до методичних рекомендацій). Клас тривалості навантаження визначають за табл. 5.1 ДБН [2] (табл. А.4 дод. А до методичних рекомендацій), а експлуатаційний клас визначають за п. 5.3.3 ДБН [2] (табл. А.5 дод. А до методичних рекомендацій).

Визначені за виразом (1.1) розрахункові опори заносять у табл. 1.2.

Клас деревини (табл. Б.1 ДБН [2], табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій) може бути орієнтовно визначений за сортом деревини за табл. Ж.1 ДБН [2] (табл. Б.1 дод. Б до методичних рекомендацій). Оскільки на сьогодні відсутня загальноприйнята методика визначення якості деревини для дерев'яних конструкцій, то сорт деревини визначають спрощено за одним показником – наявністю сучків, відповідно до рекомендацій посібника [4] (табл. Б.2 дод. Б до методичних рекомендацій).

Розрахункові опори

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Характеристичне значення	Розрахункове значення
Розтяг вздовж волокон	$f_{t,0}$	МПа		
Згин	f_m	МПа		
Стиск вздовж волокон	$f_{c,0}$	МПа		
Стиск поперек волокон	$f_{c,90}$	МПа		
Сколювання вздовж волокон	$f_{v,0}$	МПа		

Теоретичне визначення руйнівного навантаження

Розрахункова схема являє собою трикутну ферму (рис. 1.3).

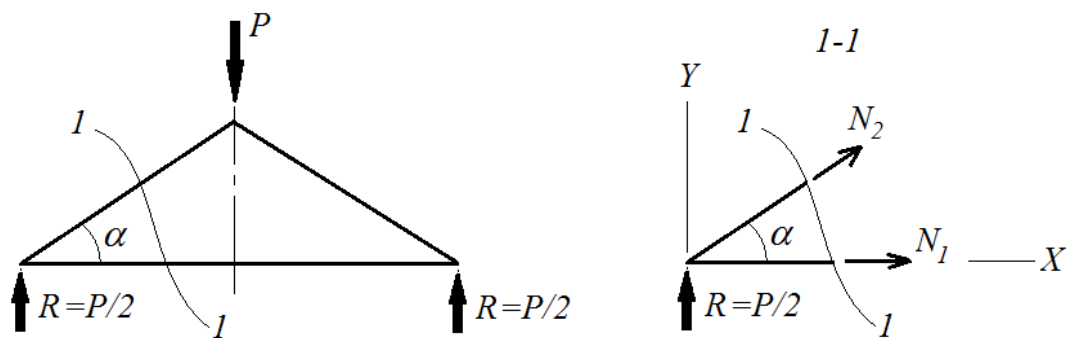


Рис. 1.3. Розрахункова схема установки для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом

Зусилля N_1 в горизонтальному елементі можна визначити методом вирізання вузла. Склавши рівняння суми проєкцій зусиль на координатні осі X та Y за виразом (1.2), визначають необхідне зусилля за виразом (1.3):

$$\begin{cases} \Sigma X = N_1 + N_2 \cos \alpha = 0; \\ \Sigma Y = \frac{P}{2} + N_2 \sin \alpha = 0, \end{cases} \quad (1.2)$$

$$N_1 = -N_2 \cos \alpha = \frac{P \cos \alpha}{2 \sin \alpha} = \frac{P}{2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (1.3)$$

Наведене з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом може руйнуватись за трьома схемами (рис. 1.4):

- 1) зминання – по робочій площадці $A-B$;
- 2) сколювання – по площадці $A-C$;
- 3) позацентровий розтяг – в перерізі $D-E$ з урахуванням ослаблення врубкою (відповідно до п. 9.2.2 ДБН [2] усі ослаблення на ділянці довжиною 15 см суміщаються в одному перерізі).

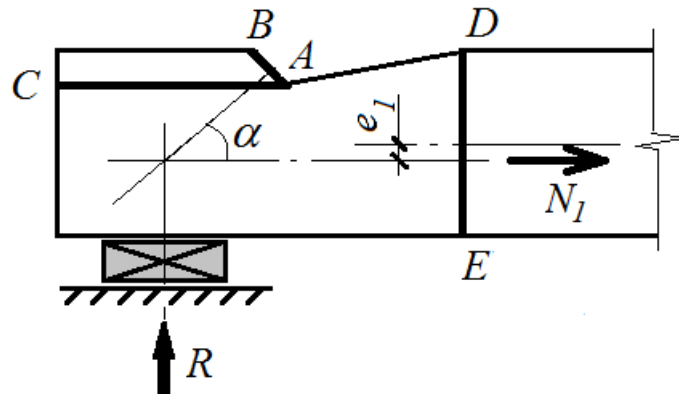


Рис. 1.4. Можливі схеми руйнування з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом

Розглянемо кожен вид руйнування окремо.

1. Робоча площадка $A-B$ повернута під кутом α до напрямку зусилля N_1 у горизонтальному елементі, тому зминання деревини також буде відбуватися під цим кутом. Відповідно до виразу (9.43) ДБН [2] відкориговують значення розрахункового опору:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{1,5 f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}.$$

Напруження при зминанні під кутом визначають за виразом (9.44) ДБН [2]:

$$N_1 / A_{ef} \leq f_{c,\alpha,d},$$

де A_{ef} – площа площадки зминання, яка дорівнює $A_{ef} = \frac{bh_{fr}}{\cos \alpha}$.

Підставивши цю площу й зусилля N_1 за виразом (1.3), після математичних перетворень остаточно отримують вираз (1.4) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_{c,\alpha} = 2 f_{c,\alpha,d} b h_{fr} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha}. \quad (1.4)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 1.3.

2. По площадці сколювання $A-C$ напруження розподіляються нерівномірно, тому відповідно до виразу (К.3) ДБН [2] визначають середнє значення розрахункового опору сколюванню:

$$f_{v,mod,d} = \frac{f_{v,0,d}}{1 + k_v(l_v/e_v)},$$

де k_v – коефіцієнт, що для випадку сколювання від розтягуючого зусилля беруть за рівний 0,25;

e_v – плече сил сколювання, що дорівнює для однобічної лобової врубки $0,25h$.

Напруження при сколюванні визначають за виразом (9.17) ДБН [2]:

$$N_1/A_v \leq f_{v,mod,d},$$

де A_v – площа площадки сколювання, яка дорівнює $A_v = bl_v$.

Підставивши цю площу та зусилля N_1 за виразом (1.3), після математичних перетворень остаточно отримують вираз (1.5) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_v = 2f_{v,mod,d}bl_v \operatorname{tg} \alpha. \quad (1.5)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Значення руйнівного навантаження

Схема руйнування	Позначення	Руйнівне навантаження, кН		Похибка δ , %
		Теоретичне	Експериментальне	
Зминання по робочій площадці $A-B$ (1.4)	$P_{c,\alpha}$			
Сколювання по площадці $A-C$ (1.5)	P_v			
Позацентровий розтяг в ослабленому перерізі $D-E$ (1.6)	P_{tm}			

3. Напруження при позацентровому розтягу в ослабленому врубкою перерізі $D-E$ визначають за виразом (9.28) ДБН [2]:

$$\frac{N_1}{A_{net}f_{t,0,d}} + \frac{N_1e_1}{W_{net}f_{m,0,d}} \leq 1,$$

де A_{net} – площа ослабленого врубкою перерізу, $A_{net} = b(h - h_{fr})$;

e_1 – ексцентриситет прикладання зусилля, що дорівнює $0,5h_{fr}$;

W_{net} – момент опору ослабленого врубкою перерізу, $W_{net} = \frac{b(h - h_{fr})^2}{6}$.

Підставивши ці величини і зусилля N_1 за виразом (1.3) після математичних перетворень остаточно отримують вираз (1.6) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_{tm} = \frac{2f_{m,0,d}f_{t,0,d}b(h - h_{fr})^2 \operatorname{tg}\alpha}{(h - h_{fr})f_{m,0,d} + 3h_{fr}f_{t,0,d}}. \quad (1.6)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 1.3.

Експериментальне визначення руйнівного навантаження

Під час лабораторного експерименту навантаження прикладають окремими ступенями з кроком 2 кН (~ 200 кгс). На кожній ступені по двох індикаторах знімають відліки та заносять до журналу випробувань у колонки 2 і 4 відповідно (табл. 1.4).

Випробування продовжують до моменту руйнування горизонтального елемента по одній з можливих схем. Одночасно фіксують руйнівне навантаження та заносять його у табл. 1.3. Також креслять ескіз елемента після руйнування.

Імовірніше за все, руйнування горизонтального елемента відбудеться шляхом сколювання з одного боку. У такому випадку картина руйнування має вигляд як на рис. 1.5.

Для визначення руйнівного навантаження від зминання (за схемою 1) у журналі випробувань (табл. 1.4) заповнюють колонки 3 і 5, віднімаючи від наступного відліку попередній. Далі в колонку 6 заносять середнє значення між визначеними в колонках 3 і 5, за яким будують графік деформацій зминання (рис. 1.6).

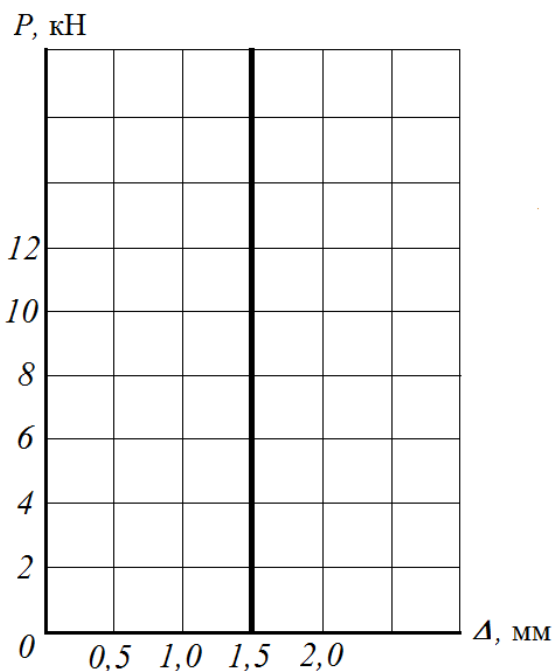
Відповідно до СНиП [1] максимальна допустима деформація з'єднання на лобовій врубці під час повного використання його несучої здатності має становити 1,5 мм. Тому на побудованому графіку визначають величину навантаження, яке відповідає цій деформації. Таке навантаження беруть за експериментальне руйнівне навантаження зминання і заносять його значення в табл. 1.3.

Журнал випробувань лобової врубки з одним зубом

Навантаження, кН	Індикатор 1		Індикатор 2		Середня деформація Δ , мм
	Відлік	Деформація, мм	Відлік	Деформація, мм	
1	2	3	4	5	6
0					
2					
4					
6					
8					
10					
12					
...					
...					



Рис. 1.5. Руйнування від сколювання з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом



Співставлення результатів

На основі даних табл. 1.3 обчислюють похибку між теоретичними та експериментальними значеннями руйнівного навантаження за виразом:

$$\delta = \frac{P^{\text{теор}} - P^{\text{експ}}}{P^{\text{експ}}} 100 \%.$$

ВИСНОВОК. За лабораторною роботою роблять висновок про характер співпадіння несучої здатності, обчисленої теоретично за нормативним документом ДБН [2], з експериментальним значенням.

Рис. 1.6. Графік деформації зминання з'єднання дерев'яних елементів на лобовій врубці з одним зубом

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 З'ЄДНАННЯ НА КЛЕЮ

Мета роботи: оцінити несучу здатність з'єднання дерев'яних елементів на клею.

Інструменти та прилади: штангенциркуль, вологомір.

Схема установки

Установка для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на клею має вигляд, зображений на рис. 2.1. Вона складається з двох крайніх елементів 1 і одного середнього 2. Між ними виконано клейовий шов 3 по всій площині контакту. Зверху на середній елемент прикладають зусилля стиску від преса, в якому розміщена установка (рис. 2.2).

Обмір елементів

Після ознайомлення з установкою для випробувань виконують обмір елементів з точністю до 0,1 мм та визначають необхідні розрахункові параметри, які заносять у табл. 2.1.

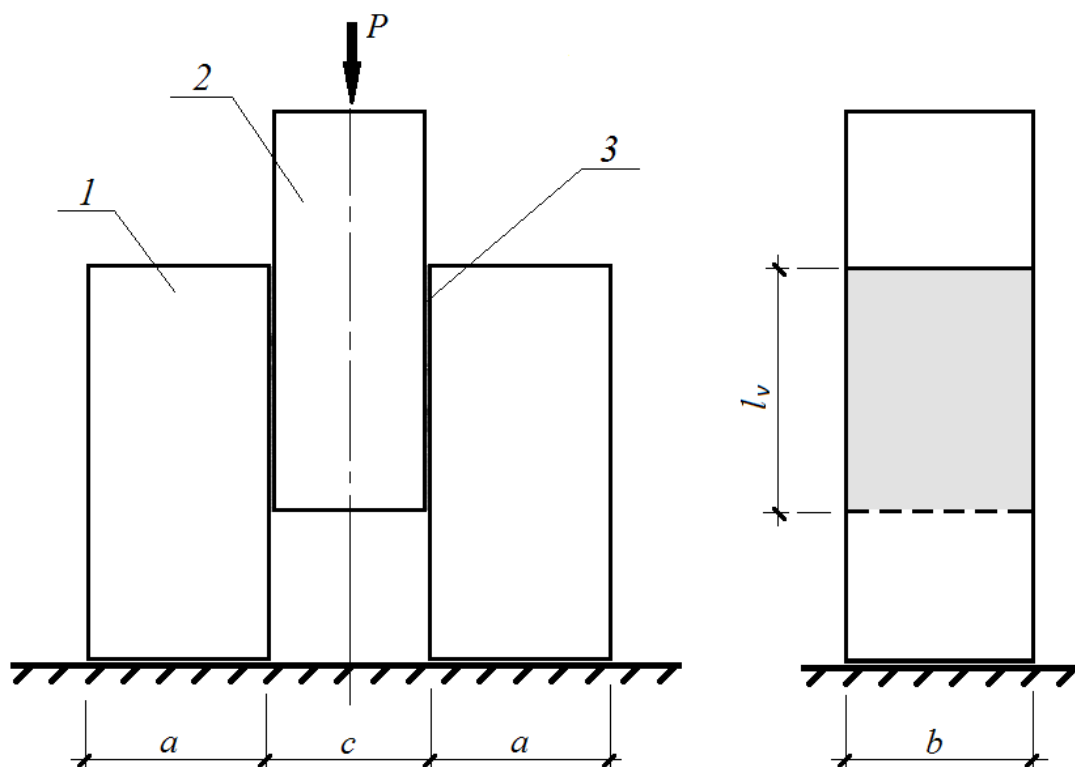


Рис. 2.1. Установка для випробування
з'єднання дерев'яних елементів на клею

a



б



Рис. 2.2. Загальний вигляд установки для випробовування
з'єднання дерев'яних елементів на клею:

a – фронтальний вигляд; *б* – вигляд збоку

Результати обмірів

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Товщина перерізу крайнього елемента	a	мм	
Товщина перерізу середнього елемента	c	мм	
Ширина елементів	b	мм	
Довжина площадки сколювання клейового шва	l_v	мм	
Вологість у приміщенні для випробування	W	%	
Матеріал елементів	—	—	

Конструктивні вимоги

Основні конструктивні вимоги, що висувають до клейових з'єднань, пов'язані з якістю клейового шва: він має бути рівномірним, не дуже товстим і нанесеним тільки на свіжоочищену поверхню деревини. З такою метою використовують тільки спеціальні синтетичні клеї відповідно до дод. М ДБН [2] із дотриманням технології їхнього використання. Виконання цих вимог перевіряють якісно.

Розрахункові опори

Розрахункові опори деревини визначають за виразом (6.1) ДБН [2]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} k_{\text{mod}}, \quad (2.1)$$

де f_k – характеристичне значення опору деревини за табл. Б.1 ДБН [2] (витяг наведений у табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій). Обране значення заносять до табл. 2.2;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом за табл. 6.1 ДБН [2] (табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій);

k_{mod} – коефіцієнт перетворення за табл. А.1 дод. А ДБН [2] (табл. А.3 дод. А до методичних рекомендацій). Клас тривалості навантаження визначають за табл. 5.1 ДБН [2] (табл. А.4 дод. А до методичних рекомендацій), а експлуатаційний клас визначають за п. 5.3.3 ДБН [2] (табл. А.5 дод. А до методичних рекомендацій).

Визначений за виразом (2.1) розрахунковий опір заносять у табл. 2.2.

Клас деревини (табл. Б.1 ДБН [2], табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій) може бути орієнтовно визначений за сортом деревини за

табл. Ж.1 ДБН [2] (табл. Б.1 дод. Б до методичних рекомендацій). Оскільки на сьогодні відсутня загальноприйнята методика визначення якості деревини для дерев'яних конструкцій, то сорт деревини визначають спрощено за одним показником – наявністю сучків, відповідно до рекомендацій посібника [4] (табл. Б.2 дод. Б до методичних рекомендацій).

Таблиця 2.2

Розрахунковий опір

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Характеристичне значення	Розрахункове значення
Сколювання вздовж волокон	$f_{v,0}$	МПа		

Теоретичне визначення руйнівного навантаження

Наведене з'єднання дерев'яних елементів на клею може руйнуватись за однією схемою – сколювання деревини елементів по ділянці $A-B$ вздовж клейового шва (рис. 2.3). Сам клейовий шов при цьому не повинен руйнуватись, адже за умови правильного виконання його несуча здатність буде вищою, ніж деревини.

По площадці сколювання $A-B$ напруження розподіляються нерівномірно, тому відповідно до виразу (К.3) ДБН [2] необхідно визначити середнє значення розрахункового опору сколюванню:

$$f_{v,mod,d} = \frac{f_{v,0,d}}{1 + k_v(l_v/e_v)},$$

де k_v – коефіцієнт, що для випадку сколювання від стискаючого зусилля беруть за рівний 0,125;

e_v – плече сил сколювання, що для симетричного з'єднання дорівнює $0,25(2a + c)$.

Напруження при сколюванні по одній ділянці визначають за виразом (9.17) ДБН [2]:

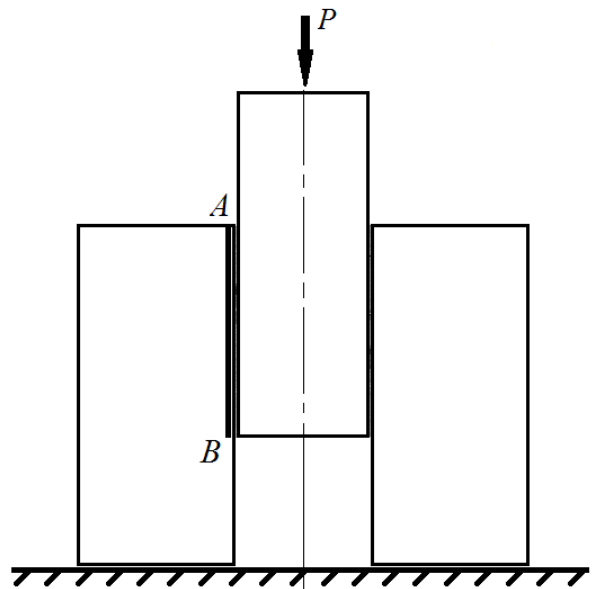


Рис. 2.3. Можлива схема руйнування з'єднання дерев'яних елементів на клею

$$\frac{P_v}{2A_v} \leq f_{v, \text{mod}, d},$$

де A_v – площа площадки сколювання, яка дорівнює $A_v = bl_v$.

Підставивши цю площу, після математичних перетворень остаточно отримують вираз (2.2) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_v = 2f_{v, \text{mod}, d}bl_v. \quad (2.2)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Значення руйнівного навантаження

Схема руйнування	Позначення	Руйнівне навантаження, кН		Похибка δ , %
		Теоретичне	Експериментальне	
Сколювання по площадці $A-B$ (2.2)	P_v			

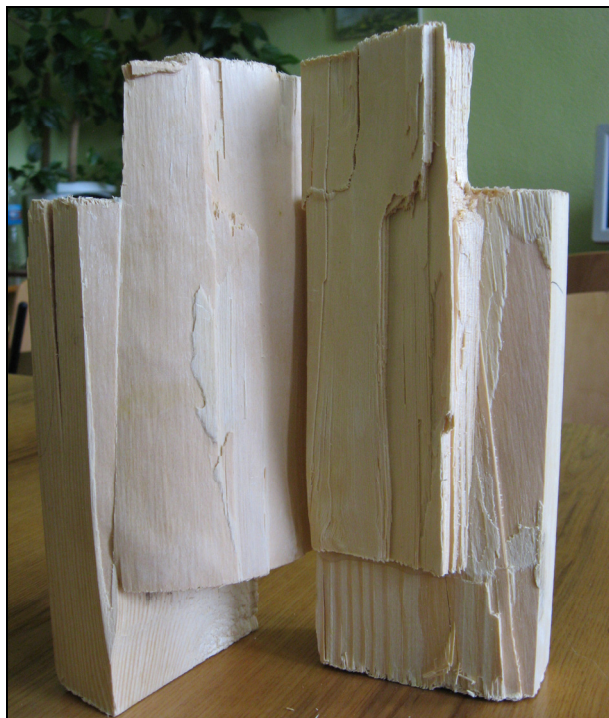


Рис. 2.4. Руйнування від сколювання з'єднання дерев'яних елементів на клею

Експериментальне визначення руйнівного навантаження

Під час лабораторного експерименту навантаження прикладають окремими ступенями з кроком 2 кН (~ 200 кгс), що полегшує фіксацію миті руйнування. Випробування продовжують до моменту руйнування будь-якого з елементів з'єднання. Одночасно фіксують руйнівне навантаження та заносять його у табл. 2.3. Потім креслять ескіз елемента після руйнування.

Імовіріше за все, руйнування з'єднання відбудеться шляхом сколювання з одного боку. У цьому випадку картина руйнування має вигляд як на рис. 2.4.

Співставлення результатів

На основі даних табл. 2.3 обчислюють похибку між теоретичним та експериментальним значеннями руйнівного навантаження за виразом:

$$\delta = \frac{P_{\text{теор}} - P_{\text{експ}}}{P_{\text{експ}}} 100 \, \%.$$

ВИСНОВОК. За лабораторною роботою роблять висновок про характер співпадіння несучої здатності, обчисленої теоретично за нормативним документом ДБН [2], з експериментальним значенням.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

З'ЄДНАННЯ НА ПЛАСТИНЧАСТИХ НАГЕЛЯХ

Мета роботи: оцінити несучу здатність з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях.

Інструменти та прилади: штангенциркуль, вологомір.

Схема установки

Установка для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях має вигляд, зображений на рис. 3.1. Вона складається з нижнього 1 і верхнього 2 горизонтальних елементів, з'єднаних між собою пластинчастими нагелями 4, які розташовані в спеціальних гніздах. Зусилля стиску від пресу передається зверху через траверсу 3 та сприймається двома опорними елементами 5, як це зображено на рис. 3.2.

Обмір елементів

Після ознайомлення з установкою для випробувань виконують обмір елементів з точністю до 0,1 мм та визначають необхідні розрахункові параметри, які заносять у табл. 3.1.

Конструктивні вимоги

У ДБН [2] цей вид з'єднань не розглядають.

Основні конструктивні вимоги, що висувають до нагельних з'єднань на пластинчастих нагелях, відповідно до СНиП [1] пов'язані з розташуванням волокон деревини в нагелях перпендикулярно до площини сплачуваних елементів.

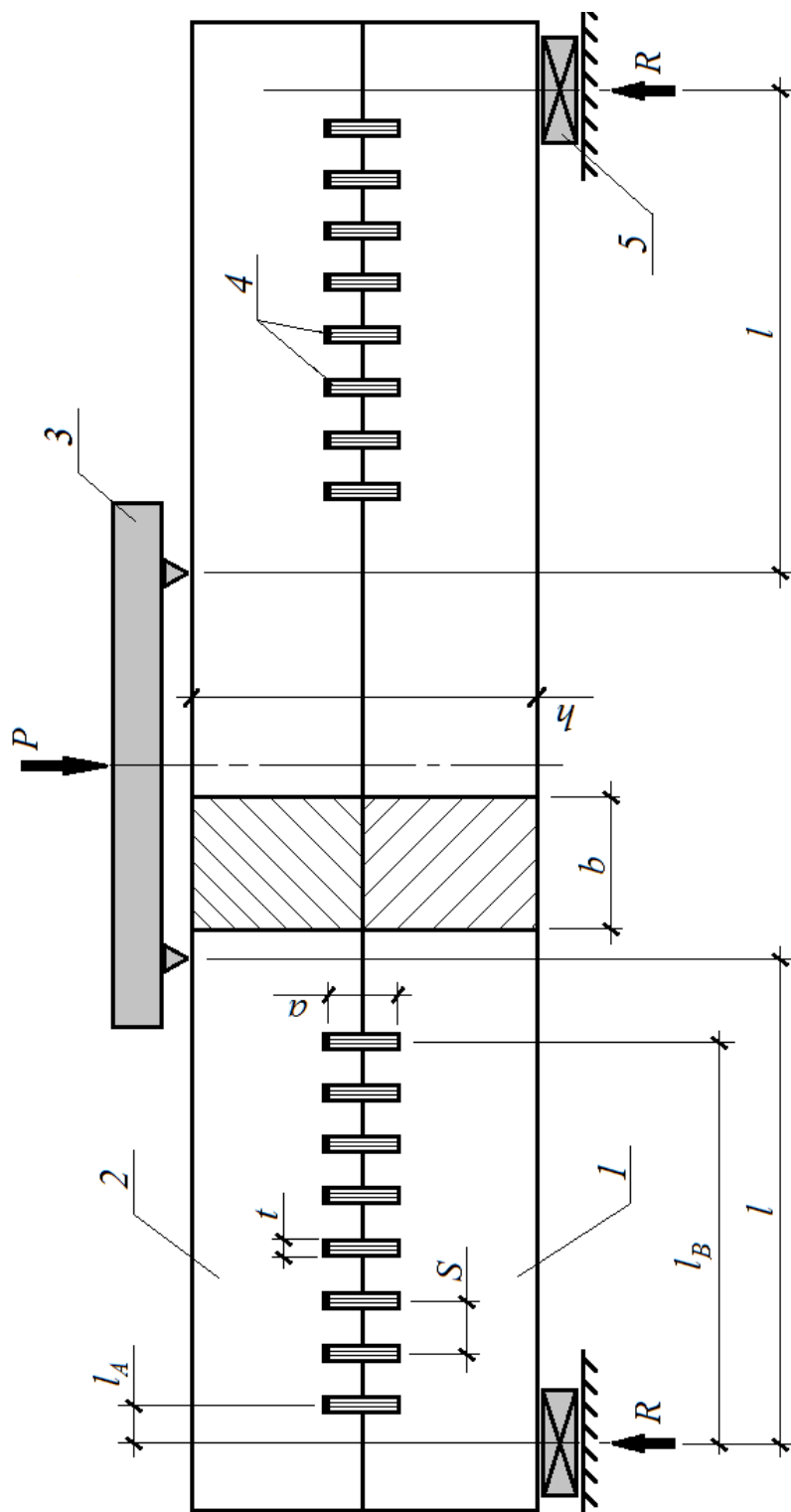
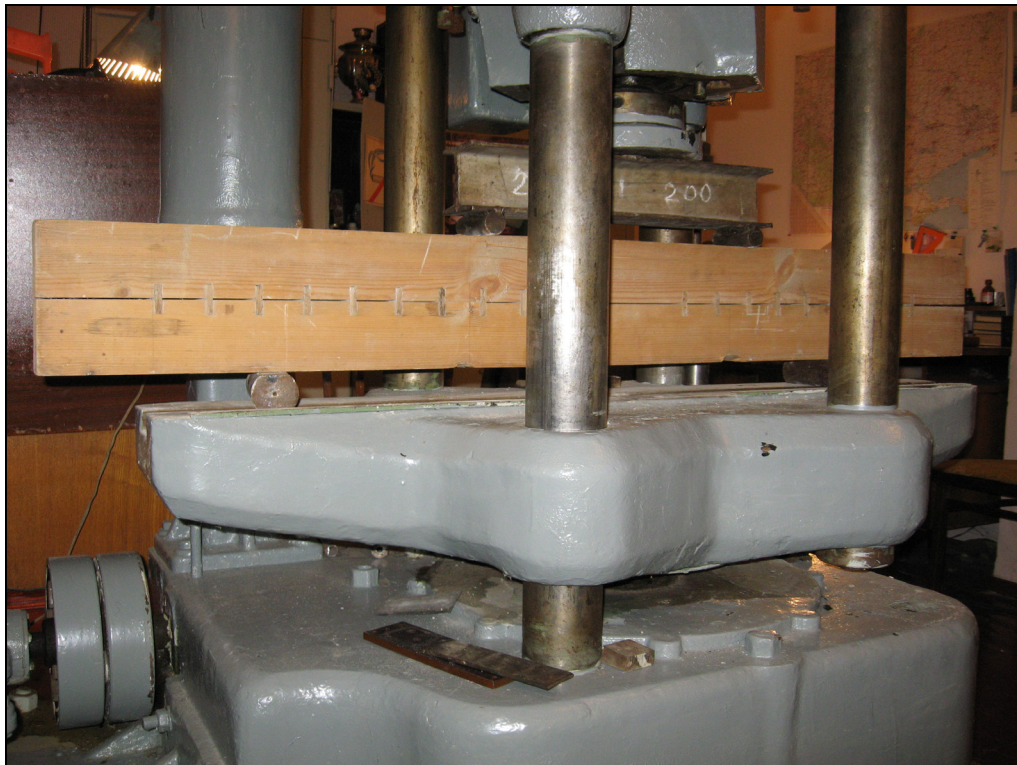


Рис. 3.1. Установка для випробування з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях

a



б



Рис. 3.2. Загальний вигляд установки для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях:
a – фронтальний вигляд; *б* – вигляд збоку

Результати обмірів

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Ширина перерізу горизонтальних елементів	b	мм	
Висота перерізу горизонтальних елементів	h	мм	
Відстань до початку ділянки нагелів	l_A	мм	
Відстань до закінчення ділянки нагелів	l_B	мм	
Відстань між траверсою й опорою	l	мм	
Висота нагеля	a	мм	
Товщина нагеля	t	мм	
Крок нагелів	S	мм	
Кількість нагелів	n	шт.	
Вологість у приміщенні для випробування	W	%	
Матеріал горизонтальних елементів	—	—	
Матеріал пластинчатих нагелів	—	—	

Відповідно до Посібника [5] висувають також додаткові конструктивні вимоги:

- 1) висота нагелів повинна знаходитися в межах $4,5t \leq a \leq 5t$;
- 2) довжина нагелів становить $b \leq 150$ мм;
- 3) висота перерізу горизонтальних елементів складає $h \geq 140$ мм;
- 4) крок нагелів не перевищує $S \geq 9t$.

Виконання вимог СНиП [1] перевіряють якісно, а вимог Посібника [5] – кількісно.

Розрахункові опори

Розрахунковий опір деревини визначають за виразом (6.1) ДБН [2]:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} k_{\text{mod}}, \quad (3.1)$$

де f_k – характеристичне значення опору деревини за табл. Б.1 ДБН [2] (витяг наведений у табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій).
Обране значення заносять до табл. 3.2;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом за табл. 6.1 ДБН [2] (табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій);

k_{mod} – коефіцієнт перетворення за табл. А.1 дод. А ДБН [2] (табл. А.3 дод. А до методичних рекомендацій). Клас тривалості навантаження визначають за табл. 5.1 ДБН [2] (табл. А.4 дод. А до методичних рекомендацій), а експлуатаційний клас визначають за п. 5.3.3 ДБН [2] (табл. А.5 дод. А до методичних рекомендацій).

Визначений за виразом (3.1) розрахунковий опір заносять у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахунковий опір

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Характеристичне значення	Розрахункове значення
Згин	f_m	МПа		

Теоретичне визначення руйнівного навантаження

Розрахункова схема являє собою складену балку (рис. 3.3).

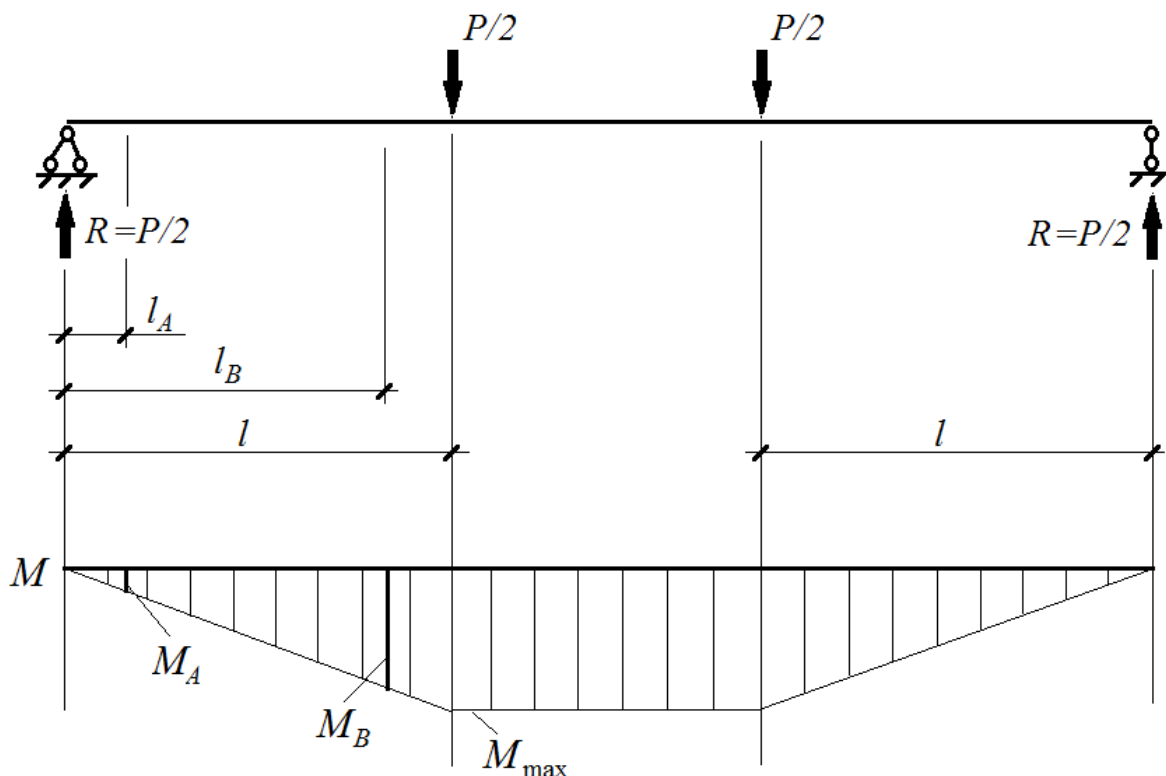


Рис. 3.3. Розрахункова схема установки для випробовування з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях

Центральна ділянка балки знаходиться в напруженому стані чистого згину, а максимальний згинальний момент на ній визначають за виразом:

$$M_{\max} = \frac{P}{2}l.$$

Згинальний момент на початку та наприкінці ділянки розташування нагелів визначають за виразами:

$$M_A = \frac{P}{2}l_A,$$

$$M_B = \frac{P}{2}l_B.$$

Наведене з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях може руйнуватися за двома схемами (рис. 3.4):

- 1) сколювання нагелів від дотичних напружень на боковій ділянці 1;
- 2) згин балки від нормальних напружень на центральній ділянці 2.

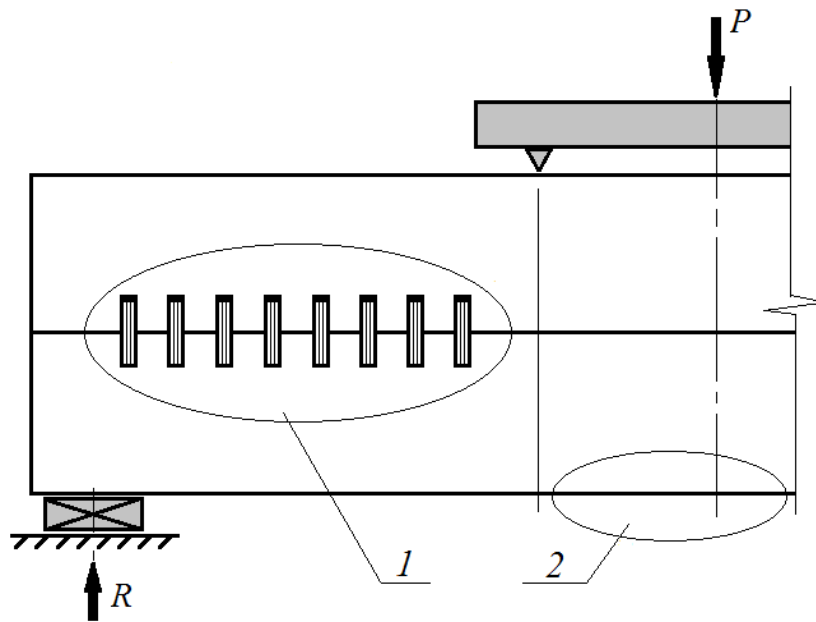


Рис. 3.4. Можливі схеми руйнування з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях

Розглянемо кожен вид руйнування окремо.

1. Сколювання нагелів на боковій ділянці 1 відповідно до виразу (19) СНиП [1] не відбуватиметься, якщо виконана умова (3.2):

$$n \geq \frac{1,5(M_B - M_A)S_{\text{бр}}}{TI_{\text{бр}}}, \quad (3.2)$$

де $S_{\text{бр}}$ – статичний момент опору повного перерізу балки, $S_{\text{бр}} = bh^2/8$;

$I_{\text{бр}}$ – момент інерції повного перерізу балки, $I_{\text{бр}} = bh^3/12$;

T – розрахункова несуча здатність пластинчастого нагеля, яку відповідно до рекомендацій Посібника [5, п. 3.4] обчислюють з урахуванням поправочних коефіцієнтів умов роботи за виразом:

$$T = 0,625tb.$$

Підставивши всі потрібні величини до виразу (3.2), після математичних перетворень остаточно отримують вираз (3.3) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_v = \frac{nbht}{1,8(l_B - l_A)}. \quad (3.3)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення руйнівного навантаження

Схема руйнування	Позначення	Руйнівне навантаження, кН		Похибка δ , %
		Теоретичне	Експериментальне	
Сколювання нагелів на боковій ділянці (3.3)	P_v			
Згин балки на центральній ділянці (3.5)	P_m			

2. Нормальні напруження від згину на центральній ділянці 2 визначають за виразом (9.16) ДБН [2]:

$$\frac{M_{\text{max}}}{W_y} \leq f_{m,d}, \quad (3.4)$$

де W_y – момент опору повного перерізу балки, $W_y = bh^2/6$.

Підставивши всі потрібні величини до виразу (3.4), після математичних перетворень остаточно отримують вираз (3.5) для визначення теоретичного руйнівного навантаження:

$$P_m = \frac{f_{m,d} b h^2}{3l}. \quad (3.5)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять до табл. 3.3.

Експериментальне визначення руйнівного навантаження

Під час лабораторного експерименту навантаження прикладають окремими ступенями з кроком 2 кН (~ 200 кгс), що полегшує фіксацію миті руйнування. Випробування продовжують до моменту руйнування будь-якого з елементів з'єднання – нагеля чи балки. Одночасно фіксують руйнівне навантаження та заносять його в табл. 3.3. Також креслять ескіз елемента після руйнування.

Імовірніше за все, руйнування з'єднання відбудеться шляхом сколювання нагелів. У цьому випадку картина руйнування має вигляд як на рис. 3.5.

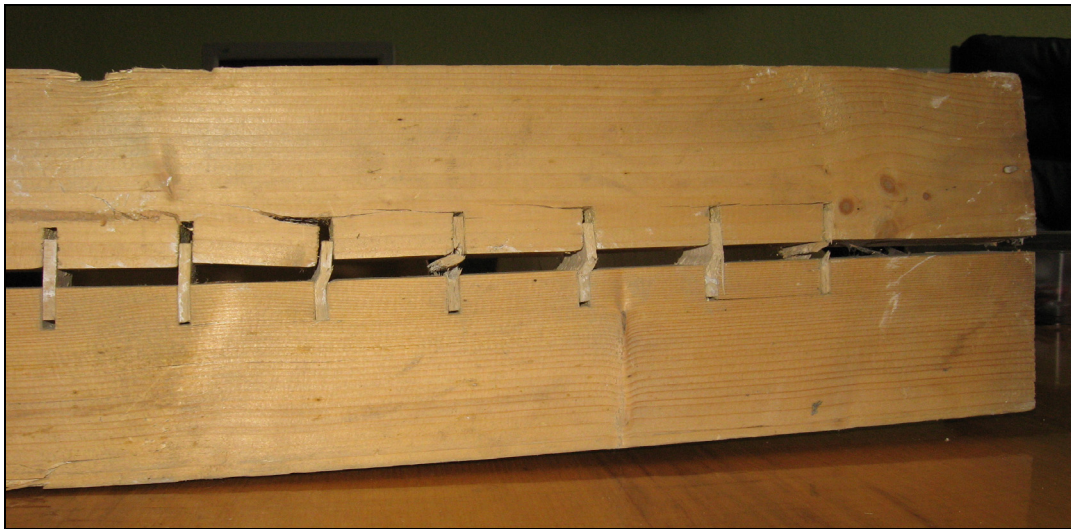


Рис. 3.5. Руйнування від сколювання з'єднання дерев'яних елементів на пластинчастих нагелях

Співставлення результатів

На основі даних табл. 3.3 обчислюють похибку між теоретичними та експериментальними значеннями руйнівного навантаження за виразом:

$$\delta = \frac{P_{\text{теор}} - P_{\text{експ}}}{P_{\text{експ}}} 100 \%.$$

ВИСНОВОК. За лабораторною роботою роблять висновок про характер співпадіння несучої здатності, обчисленої теоретично за нормативним документом ДБН [2], з експериментальним значенням.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

З'ЄДНАННЯ НА ЦВЯХАХ

Мета роботи: оцінити несучу здатність двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на циліндричних нагелях (цвяхах).

Інструменти та прилади: індикатор годинникового типу (2 шт.), штангенциркуль, ваги, вологомір.

Схема установки

Установка для випробовування двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах має вигляд, зображений на рис. 4.1. Вона складається з двох крайніх елементів 1 і одного середнього елемента 2, які з'єднані між собою цвяхами 3. На фронтальному і тильному боках закріплено по одному вимірному індикатору годинникового типу 4. Зверху на середній елемент прикладають зусилля стиску від пресу, в якому розміщена установка (рис. 4.2).

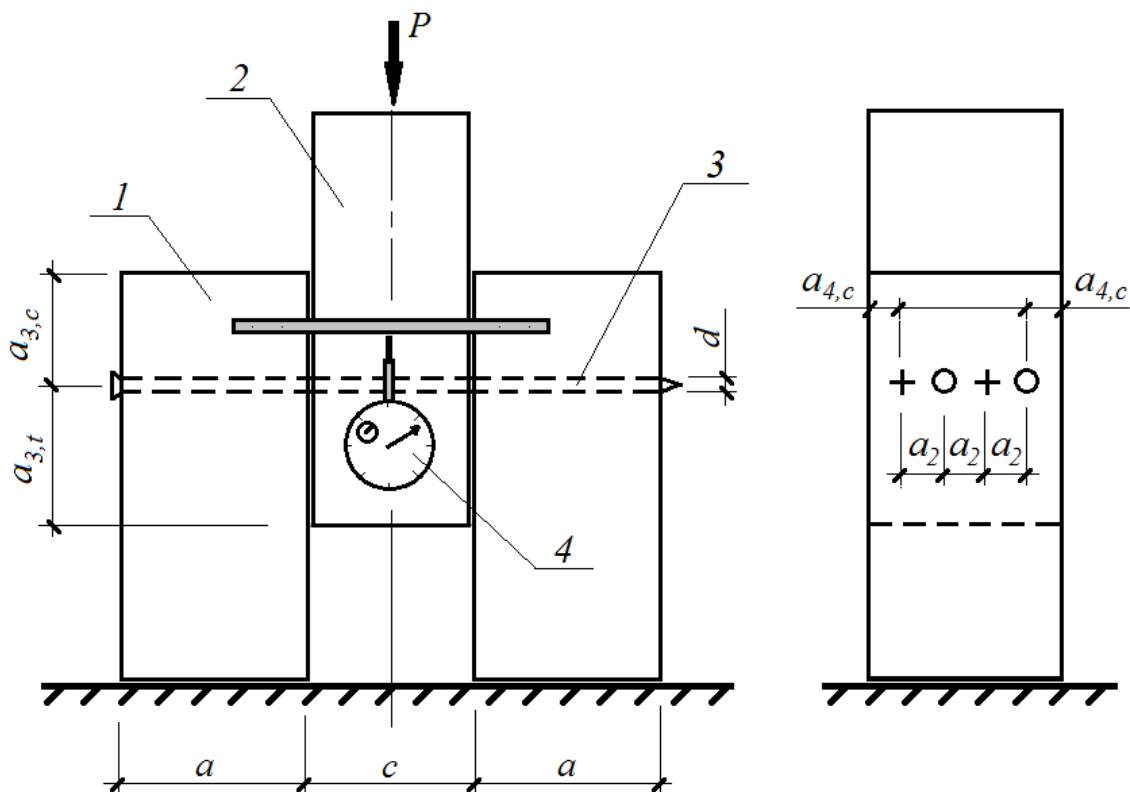
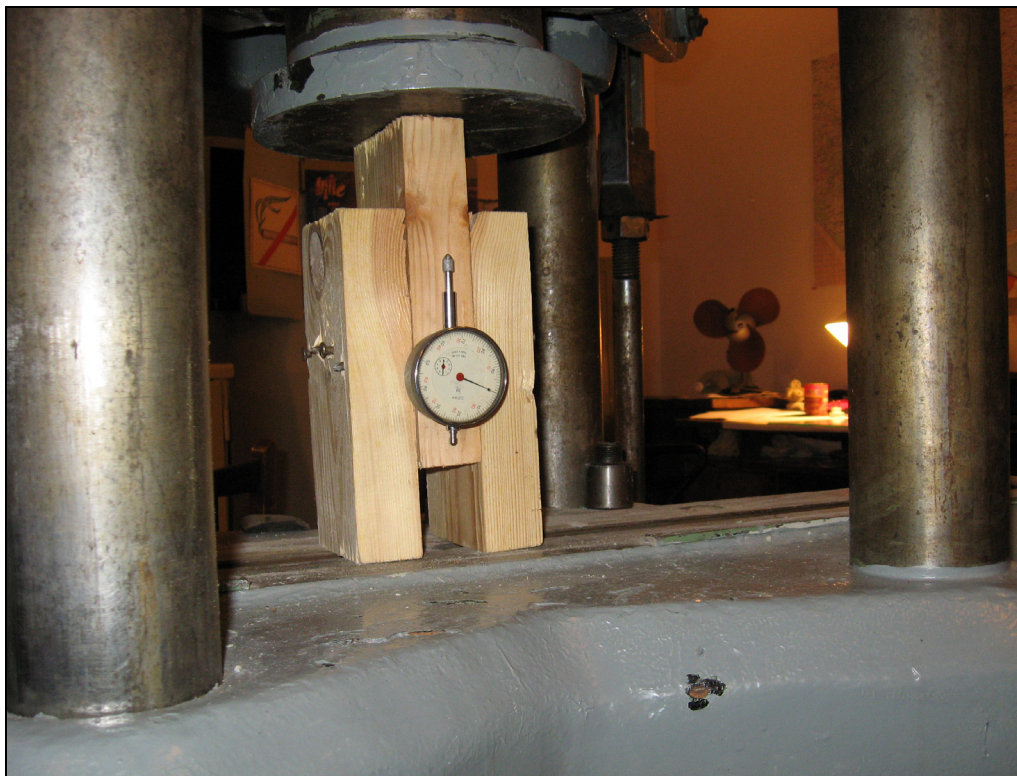


Рис. 4.1. Установка для випробування двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах

a



б

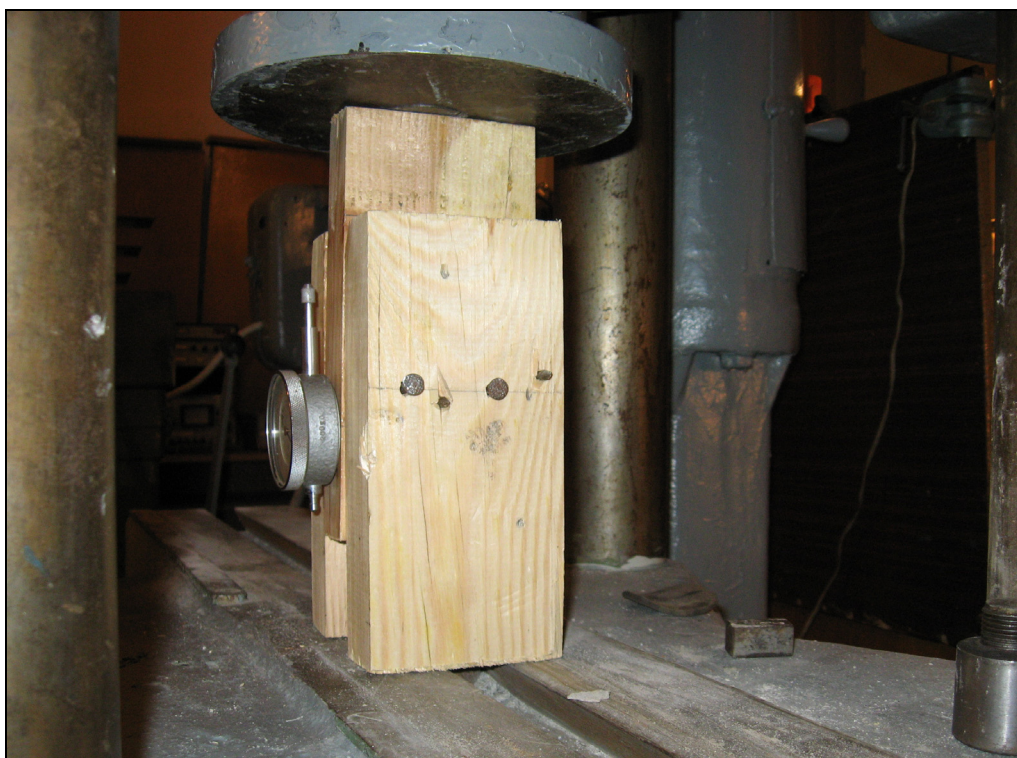


Рис. 4.2. Загальний вигляд установки для випробовування двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на циліндричних нагелях (цвяхах):
a – фронтальний вигляд; *б* – вигляд збоку

Обмір елементів

Після ознайомлення з установкою для випробувань виконують обмір елементів із точністю до 0,1 мм та визначають необхідні розрахункові параметри, які заносять у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати обмірів

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Товщина перерізу крайнього елемента	a	мм	
Товщина перерізу середнього елемента	c	мм	
Діаметр цвяха	d	мм	
Кількість цвяхів	n	шт.	
Відстань між осями цвяхів поперек волокон	a_2	мм	
Відстань до навантаженого торця	$a_{3,t}$	мм	
Відстань до ненавантаженого торця	$a_{3,c}$	мм	
Відстань до ненавантаженої кромки	$a_{4,c}$	мм	
Вологість у приміщенні для випробування	W	%	
Матеріал елементів	—	—	
Густина елементів характеристична	ρ_k	кг/м ³	
Матеріал цвяхів	—	—	
Міцність цвяха на розтяг	f_u	МПа	

Значення густини елементів із деревини ρ_k має визначатись поділом маси m зразка деревини на його об'єм V за виразом $\rho_k = m/V$.

Міцність цвяха на розтяг беруть за довідковими даними залежно від його матеріалу або визначають експериментальним шляхом під час випробувань.

Конструктивні вимоги

До основних конструктивних вимог, що висувають до цвяхових з'єднань, відповідно до п. 12.5.5 ДБН [2] відносять такі:

- 1) попереднє свердління отворів під цвяхи виконують для деревини з характеристичною густиною $\rho_k \geq 500$ кг/м³;
- 2) довжина анкерування цвяха становить $a \geq 8d$;

3) мінімальні відстані між осями цвяхів та до кромek елементів визначають за табл. 12.7 ДБН [2] (витяг наведений у табл. 4.2).

Виконання всіх цих вимог перевіряють кількісно.

Таблиця 4.2

Мінімальні відстані при використанні цвяхів

Відстань	Густина деревини характеристична ρ_k , кг/м ³		
	$\rho_k \leq 420$	$420 < \rho_k \leq 500$	$\rho_k > 500$ і/або $d > 6$ мм
a_2	$5d$	$7d$	$4d$
$a_{3,t}$	$15d$	$20d$	$12d$
$a_{3,c}$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,c}$	$5d$	$7d$	$3d$

Розрахункові опори

Розрахункові значення опорів деревини в цій лабораторній роботі не потрібні.

Теоретичне визначення руйнівного навантаження

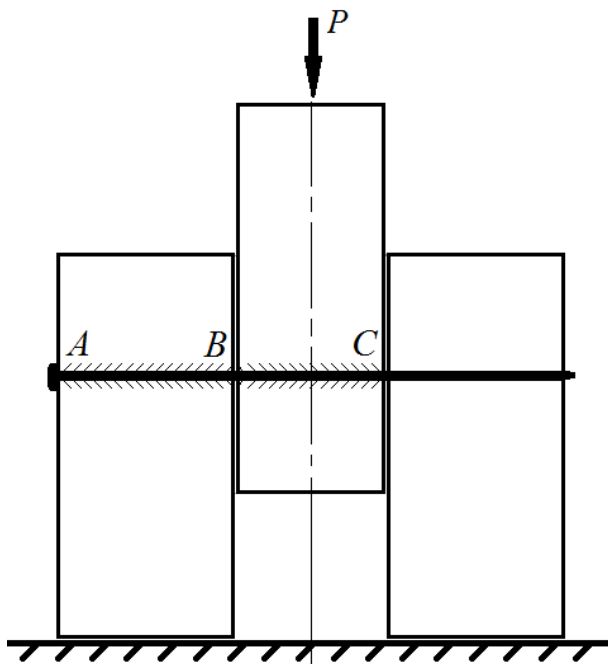


Рис. 4.3. Можливі схема руйнування двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах

Розглядуване двозрізне з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах може руйнуватись за трьома схемами (рис. 4.3):

- 1) зминання деревини гнізда $A-B$ у крайньому елементі;
- 2) зминання деревини гнізда $B-C$ у середньому елементі;
- 3) згин цвяха.

Розглянемо кожен вид руйнування окремо.

1. Характеристична несуча здатність зминанню деревини одного гнізда $A-B$ у крайньому елементі на один шов сплачування для з'єднання на цвяхах відповідно до виразів (12.14) і (12.34) ДБН [2] дорівнюватиме (у Ньютонах):

$$F_{1v,Rk} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k ad.$$

Тоді теоретичне руйнівне навантаження для цього випадку слід обчислювати за виразами (12.52) і (12.53) ДБН [2]:

$$P_1 = 2F_{lv,Rk} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} n, \quad (4.1)$$

де k_{mod} – коефіцієнт перетворення за табл. А.1 дод. А ДБН [2] (табл. А.3 дод. А до методичних рекомендацій). Клас тривалості навантаження визначають за табл. 5.1 ДБН [2] (табл. А.4 дод. А до методичних рекомендацій), а експлуатаційний клас визначають за п. 5.3.3 ДБН [2] (табл. А.5 дод. А до методичних рекомендацій);

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом за табл. 6.1 ДБН [2] (табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій);

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Значення руйнівного навантаження

Схема руйнування	Позначення	Руйнівне навантаження, кН,		Похибка δ , %
		теоретичне	експериментальне	
Зминання деревини гнізда А–В у крайньому елементі (4.1)	P_1			
Зминання деревини гнізда В–С у середньому елементі (4.2)	P_2			
Згин цвяха (4.3)	P_3			

2. Характеристична несуча здатність зминанню деревини одного гнізда В–С у середньому елементі на один шов сплачування для з'єднання на цвяхах відповідно до виразів (12.15) і (12.34) ДБН [2] дорівнюватиме (у Ньютонах):

$$F_{2v,Rk} = 0,041(1 - 0,01d)\rho_k cd.$$

Теоретичне руйнівне навантаження для цього випадку обчислюють за виразами (12.52) і (12.53) ДБН [2]:

$$P_2 = 2F_{2v,Rk} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} n. \quad (4.2)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 4.3.

3. Розрахункову несучу здатність згину цвяха на один шов сплачування для з'єднання на цвяхах визначають за виразами (12.16), (12.17), (12.28), (12.34), (12.42), (12.44) і (12.45) ДБН [2] (у Ньютонах):

$$F_{3v,Rk} = 0,0287(1 - 0,01d)\rho_k ad \left[\sqrt{4 + \frac{3,6f_u d^{1,6}}{0,082(1 - 0,01d)\rho_k a^2}} - 1 \right] + 5 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 ad ;$$

$$F_{4v,Rk} = 1,15 \sqrt{0,0492 f_u d^{3,6} (1 - 0,01d) \rho_k} + 5 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 ad .$$

З двох значень обирають менше $F_{\min v,Rk}$.

Теоретичне руйнівне навантаження для цього випадку обчислюють за виразами (12.52) і (12.53) ДБН [2]:

$$P_3 = 2F_{\min v,Rk} \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} n . \quad (4.3)$$

Розраховане за цим виразом значення заносять у табл. 4.3.

Експериментальне визначення руйнівного навантаження

Під час лабораторного експерименту навантаження прикладають окремими ступенями з кроком 2 кН (~ 200 кгс). На кожній ступені по двох індикаторах знімають відліки та заносять до журналу випробувань у колонки 2 і 4 відповідно (табл. 4.4).

Випробування продовжують до моменту деформації середнього елемента на величину 1,5–2,0 см. Після цього навантаження знімають та розколюють зразок у вертикальному напрямку. Креслять ескіз елемента після руйнування.

Імовірно за все, зразок після зняття навантаження буде мати вигляд як на рис. 4.4.

Для визначення руйнівного навантаження в журналі випробувань (табл. 4.4) заповнюють колонки 3 і 5, віднімаючи від наступного відліку попередній. Далі в колонку 6 заносять середнє значення, між визначеними в колонках 3 і 5, за яким будують графік деформацій (рис. 4.5).

Відповідно до СНиП [1] максимальна допустима деформація з'єднання на нагелях усіх видів при повному використанні його несучої здатності має становити 2 мм. Тому на побудованому графіку визначають величину навантаження, яке відповідає цій деформації. Таке навантаження беруть за експериментальне руйнівне навантаження зминання і заносять його значення у табл. 4.3.

Журнал випробувань цвяхового з'єднання

Навантаження, кН	Індикатор 1		Індикатор 2		Середня деформація Δ , мм
	Відлік	Деформація, мм	Відлік	Деформація, мм	
1	2	3	4	5	6
0					
2					
4					
6					
8					
10					
12					
...					
...					

Співставлення результатів

На основі даних табл. 4.3 обчислюють похибку між теоретичним та експериментальним значеннями руйнівного навантаження за виразом:

$$\delta = \frac{P^{\text{теор}} - P^{\text{експ}}}{P^{\text{експ}}} 100 \, \%.$$

ВИСНОВОК. За лабораторною роботою роблять висновок про характер співпадіння несучої здатності, обчисленої теоретично за нормативним документом ДБН [2], з експериментальним значенням.



Рис. 4.4. Зразок після випробувань
двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах

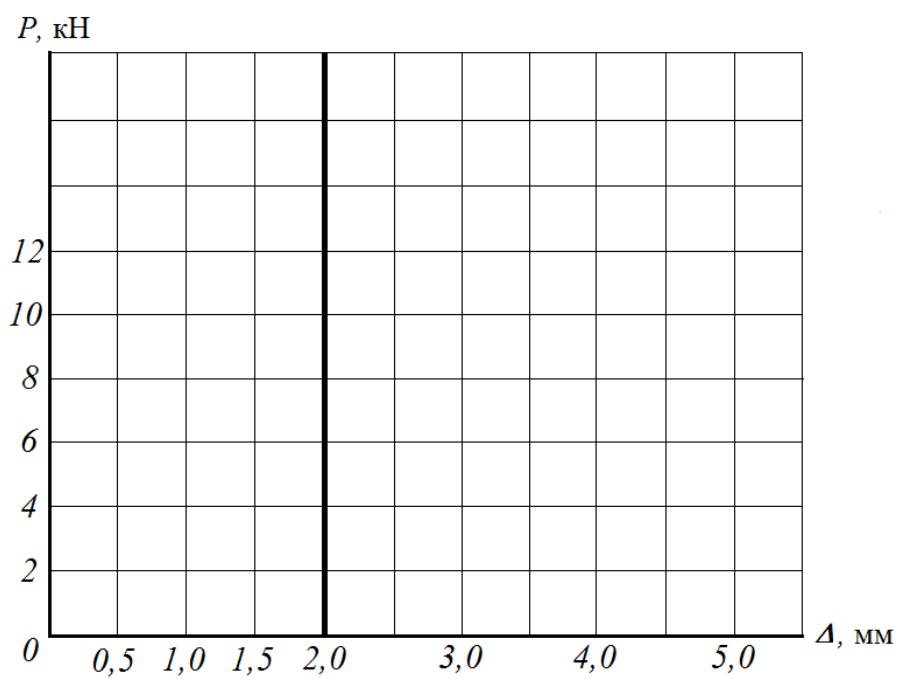


Рис. 4.5. Графік деформації зминання
двозрізного з'єднання дерев'яних елементів на цвяхах

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. Москва : Стройиздат, 1983. 31 с.
2. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ : Мінрегіон, 2017. 111 с.
3. ДБН В.2.6-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд, 2011. 102 с.
4. Ветрюк И. М. Конструкции из дерева и пластмасс : учебн. пособие. Минск : Вышэйшая школа, 1973. 336 с.
5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. Москва : Стройиздат, 1986. 216 с.

Таблица А.1

Характеристичні опори хвойної деревини, МПа (витяг)

Параметр	Клас міцності											
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Згин $f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Розтяг вздовж волокон $f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Розтяг впоперек волокон кон $f_{t,90,k}$	0,4											
Стиск вздовж волокон $f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Стиск впоперек волокон кон $f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Сколювання та кручення $f_{v,k}$	2,0											

Таблиця А.2

Коефіцієнти надійності за матеріалом γ_M

Основні комбінації	γ_M
Цільна деревина	1,30
Клеєна деревина	1,25
Клеєний шпон (LVL), фанера, OSB	1,20
ДСП, ДВП, МДФ	1,30
З'єднання	1,30
Металеві зубчасті пластини	1,25
Випадкові комбінації	1,00

Таблиця А.3

Значення коефіцієнта перетворення, що враховує тривалість дії навантаження та температурно-вологісні умови експлуатації k_{mod}

Будівельний матеріал	Клас навантаження за тривалістю дії	Експлуатаційні класи		
		1	2	3
Суцільна деревина, клеєна деревина, балочна клеєна деревина, фанера, ортогональна клеєна деревина	Постійне	0,60	0,60	0,50
	Тривале	0,70	0,70	0,55
	Середньої тривалості	0,80	0,80	0,65
	Короткочасне	0,90	0,90	0,70
	Миттєве	1,10	1,10	0,90
ДСП, цементно-стружкові плити (ЦСП), ДВП (тип НВ.HLA2)	Постійне	0,30	0,20	—
	Тривале	0,45	0,30	—
	Середньої тривалості	0,65	0,45	—
	Короткочасне	0,85	0,60	—
	Миттєве	1,10	0,80	—
OSB-плити (OSB/2, OSB/3 та OSB/4)	Постійне	0,40	0,30	—
	Тривале	0,50	0,40	—
	Середньої тривалості	0,70	0,55	—
	Короткочасне	0,90	0,70	—
	Миттєве	1,10	0,90	—

Закінчення табл. А.3

Будівельний матеріал	Клас навантаження за тривалістю дії	Експлуатаційні класи		
		1	2	3
ДВП (тип MBH.LA2)	Постійне	0,20	0,15	—
	Тривале	0,40	0,30	—
	Середньої тривалості	0,60	0,45	—
	Короткочасне	0,80	0,60	—
	Миттєве	1,10	0,80	—

Таблиця А.4

Класи тривалості навантаження

Клас навантаження за тривалістю дії	Порядок розподілу тривалості навантажень
Постійне	Більше 10 років
Довготривале	Від 6 місяців – до 10 років
Середньої тривалості	Від 1 тижня – до 6 місяців
Короткочасне	Менше одного тижня
Миттєве	Менше однієї хвилини

Таблиця А.5

Експлуатаційні класи

Експлуатаційний клас	Характеристика
1	Температура 20 °С і відносна вологість навколишнього повітря, що перевищує 65 % тільки декілька тижнів протягом року
2	Температура 20 °С і відносна вологість навколишнього повітря, що перевищує 85 % тільки декілька тижнів протягом року
3	Кліматичні умови, що призводять до вищої вологості, ніж для експлуатаційного класу 2

СОРТИ ДЕРЕВИНИ

Таблиця Б.1

Рекомендовані залежності між класами міцності та сортами деревини

Елемент	Сорт деревини		
	1	2	3
Елементи пиломатеріалів	C30	C20, C24, C27	C14, C16, C18
Елементи з круглого лісу та бруска шириною перерізу більше ніж 120 см	C27	C20	–
Клеєні багат шарові елементи	C27, C30, C35	C24	–

Примітка. Використовуються при неможливості експериментального визначення класу міцності деревини.

Таблиця Б.2

**Розподіл деревини за сортами по загальному діаметру сучків (ΣD)
на довжині елемента 20 см**

Сорт деревини		
1	2	3
$\Sigma D < 1/4$ ширини елемента	$1/4$ ширини елемента < $\Sigma D < 1/3$ ширини елемента	$1/3$ ширини елемента < $\Sigma D < 1/2$ ширини елемента

Виробничо-практичне видання

Банніков Дмитро Олегович

КОНСТРУКЦІЇ З ДЕРЕВА ТА ПЛАСТМАС

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Редактор *І. Г. Мірошніченко*
Комп'ютерна верстка *О. М. Гончаренко*

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,33. Обл.-вид. арк. 2,35.

Тираж 10 пр. Зам. №

Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010