

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до проведення лабораторного практикуму
з дисципліни:

Будівельні конструкції

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

ЦНТУ
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

Методичні вказівки

до проведення лабораторного практикуму
з дисципліни:

Будівельні конструкції

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

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

ЦНТУ
2020

Будівельні конструкції : метод. вказ. до пров. лаб. практ. для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. А. Настоящий, В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О. А. Плотніков, І. П. Заворуєва] ; М-во освіти і науки України, Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - 30с.

Рецензент – А. Тихий – канд. техн. наук, доцент.

Загальні вказівки до проведення лабораторного практикуму	4
1. Мета, задачі і порядок проведення експериментальних досліджень.....	4
2. Вимоги до випробувальної установки	5
3. Вимірювання деформацій.....	5
4. Основи міцності дерев'яних елементів	6
5. Оцінювання результатів випробувань, обстеження конструкції після руйнування	8
6. Контрольні питання.....	8
Лабораторна робота №1 Випробування з'єднання лобовою врубкою з одним зубом	9
Лабораторна робота №2 Випробування клеєної дерев'яної балки на згин	13
Лабораторна робота №3 Випробування моделі ребристої клеєфанерної панелі на згин.....	16
Лабораторна робота №4 Випробування балки складеного перерізу на пластинчастих нагелях	20
Лабораторна робота №5 Випробування з'єднання цвяхами.....	24
Лабораторна робота №6 Випробування двотаврової дерев'яної балки зі стінкою з орієнтовано–стружкової плити (OSB) на згин.....	27
Список літератури	30

Загальні вказівки до проведення лабораторного практикуму

1. Мета лабораторного практикуму – ознайомити студентів із методикою і специфікою випробувань будівельних конструкцій та з'єднань із дерева й полімерних матеріалів, допомогти їм набути навичок у проведенні експериментальних досліджень, поглибити та закріпити знання з курсу "Конструкції з дерева та пластмас".

2. Усі лабораторні роботи містять елементи наукових досліджень, тому до кожного випробування потрібно ставитися як до самостійної дослідницької роботи: застосовувати теоретичні знання при експериментах, аналізувати результати випробувань.

3. Перед початком кожної роботи необхідно ретельно опрацювати теоретичні питання, розібратися в розрахунковій схемі конструкції, пристрої випробувальної установки і вимірювальної апаратури.

4. При проведенні випробувань варто дбайливо ставитися до устаткування й апаратури, первинні записи робити акуратно та у повному обсязі.

5. Записи в журналі лабораторних робіт слід виконувати чорнилом. При побудові графіків окремі експериментальні точки обводити колами, криві проводити плавно.

6. Для заліку з лабораторних робіт необхідно пред'явити повністю оформлений і підписаний журнал, уміти самостійно проводити випробування, критично аналізувати й практично застосовувати отримані результати.

7. Крім лабораторних робіт, під час занять передбачається виконання НДРС. За вказівкою викладача студенти досліджують ряд додаткових питань.

8. При проведенні робіт необхідно дотримуватися правил техніки безпеки: забороняється вмикати і вимикати прилади без дозволу викладача або завідувача лабораторією, доторкатися до струмоведучих установок. Не дозволяється знаходитись у безпосередній близькості до випробуваної конструкції або з'єднання при наближенні навантаження до руйнівного.

9. Студенти зобов'язані підтримувати чистоту та порядок у лабораторії і на робочих місцях.

1. Мета, задачі і порядок проведення експериментальних досліджень

Будівельні конструкції, їх окремі елементи або з'єднання, у тому числі й конструкції з дерева і пластмас, експериментально досліджують із метою одержання необхідної інформації про їх несучу здатність (випробування проводять до руйнування) або встановлення ступеня відповідності фактичного напружено-деформованого стану теоретичному (завантажувати конструкцію можна тільки у межах розрахункового навантаження). При проведенні випробувань з'ясовують характер роботи конструкції або з'єднання під навантаженням, а у випадку випробувань до

руйнування й характер руйнування. І в тому, і в іншому випадках обов'язковим є вимір деформацій у найбільш напружених місцях конструкції. Проведення експериментальних досліджень містить у собі:

- 1) вивчення конструктивної форми і розрахункової схеми, уточнення питань, що підлягають дослідженню;
- 2) детальний огляд випробуваної конструкції або з'єднання: встановлення ступеня відповідності розрахунковій схемі, перевірка центрування елементів у вузлах, виявлення властивих пороків; при виявленні неприпустимих пороків у найбільш напружених зонах конструкції випробування її не проводять;
- 3) упорядкування обмірювальних креслень, установлення породи і якості матеріалу, визначення його вологості;
- 4) визначення розрахункової несучої здатності при тривалій і тимчасовій дії навантаження на конструкцію або з'єднання;
- 5) безпосереднє проведення експерименту з фіксуванням у журналі випробувань деформацій, що вимірюються;
- 6) опрацювання результатів експерименту, встановлення відповідності результатів розрахунку результатам експерименту;
- 7) складання висновків з аналізом отриманих результатів.

2. Вимоги до випробувальної установки

При виконанні лабораторних робіт використовують стаціонарні випробувальні установки, які повинні задовольняти такі вимоги:

- а) обпирання конструкції має відповідати розрахунковій схемі;
- б) розкришення стиснутого контуру конструкції (наприклад, стиснутого пояса плоскої системи) повинно перешкоджати виходові вузлів системи з її площини, але не перешкоджати вільним вертикальним переміщенням точок системи в площині дії навантаження;
- в) навантаження на випробувану конструкцію має розподілятися за законом важеля так, щоб сили, що діють на окремі точки конструкції, можна було точно обчислити;
- г) завантаження варто здійснювати ступенево з постійною швидкістю;
- д) розташування вимірювальних приладів повинне забезпечувати всебічний контроль за деформаціями конструкції протягом усього випробування і виключати вихід їх із роботи або пошкодження.

3. Вимірювання деформацій

Прилади для вимірювання деформацій, що використовуються при випробуваннях конструкцій, розподіляються на такі види:

- а) прилади для вимірювання загальних деформацій системи (прогинів і подовжень прольоту балкових систем, кутів нахилу елементів конструкцій тощо);
- б) прилади для вимірювання відносних деформацій матеріалу елементів конструкцій (деформацій в окремих волокнах балок, деформацій зім'яття нагельних з'єднань та ін.);

в) прилади для вимірювання зсувів піддатливих з'єднань (взаємних зміщень елементів, що з'єднуються).

У число основних деформацій системи, що вимірюються під час випробування, повинні входити головні, що могли б служити сумарною характеристикою деформативності конструкції. Отримана при випробуванні залежність цих деформацій від навантаження буде однією з основних при аналізі роботи конструкції або з'єднання під навантаженням.

При проведенні лабораторного практикуму для виміру загальних деформацій, а також деформацій зсуву елементів на піддатливих в'язях, використовують індикатори годинникового типу і прогиноміри Аістова 6 ПАО з ціною поділки 0,01 мм; для виміру деформацій матеріалу елементів конструкцій електромеханічні тензометри Аістова ТА-2 та електричні тензорезистори з реєстраційною апаратурою ВНП-8 або АИД-4 (автоматичний вимірювач деформацій). Для виміру вологості деревини використовують електровологомір ЭВ-2М.

4. Основи міцності дерев'яних елементів

Визначення розрахункових опорів деревини. За існуючими нормами розрахункові опори деревини основним видам напружено-деформованого стану визначають за нормативними опорами пиломатеріалів, що мають сортовизначаючі пороки, за формулою

$$R = \frac{R^n \cdot m_{mp}}{\gamma_m}, \quad (1)$$

де m_{mp} – коефіцієнт, що враховує зменшення мацності деревини протягом часу під впливом навантаження;

λ_m – коефіцієнт надійності за матеріалом.

Нормативні опори визначені для трьох сортів пиломатеріалів із забезпеченістю 95%. (5% усієї кількості випробуваних зразків може мати міцність нижче ніж R_n). При цьому використаний нормальний закон розподілу випадкових величин (рис. 1), згідно з яким

$$R^n = R_{mч} (1 - \gamma \cdot v), \quad (2)$$

де $R_{mч} = \frac{\sum R_i}{n}$ – середнє значення міцності певної кількості випробуваних зразків (n), необхідних для отримання достовірних результатів (іншими словами межа міцності або тимчасовий опір);

γ – показник, що характеризує ступінь достовірності (для 95%–ї достовірності результатів $\gamma = 1,64$);

v – коефіцієнт мінливості результатів

$$v = \frac{S}{R_{mч}}; \quad (3)$$

де S – середньостатистичне відхилення результатів

$$S = \pm \sqrt{\sum \frac{(R_{mч} - R_i)^2}{n-1}}.$$

Коефіцієнт $m_{тр}$ – це відношення межі тривалого опору до межі міцності (тимчасового опору) (рис. 2). При визначенні розрахункових опорів деревини усім видам силових впливів (стиску, зминанню, сколюванню, розтягу, згину) його значення прийняте в нормах проектування рівним 0,66.

Розрахункові опори сосни, ялини, модрина європейської наведено в нормах проектування у табл. 3 [1]. Для інших порід деревини розрахункові опори визначаються множенням їх на перехідні коефіцієнти, які наведено в табл. 4 [1].

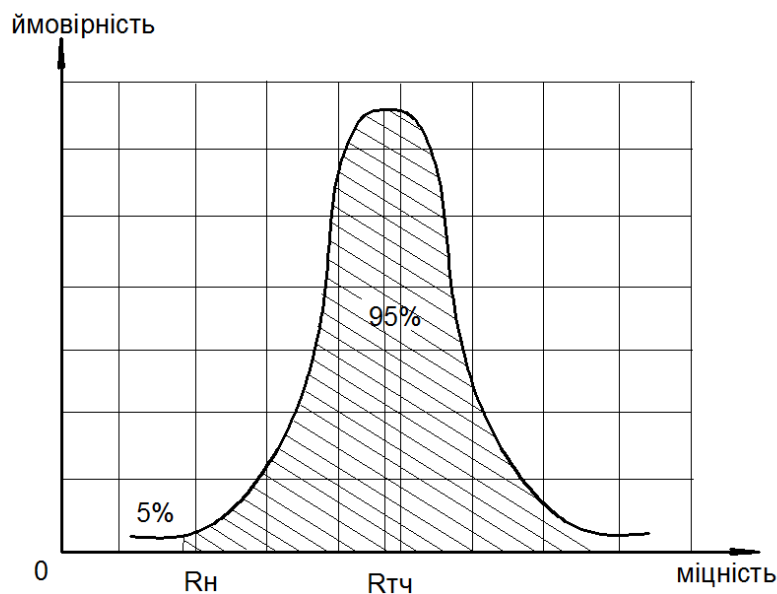


Рис. І. Нормальний закон розподілу випадкових величин

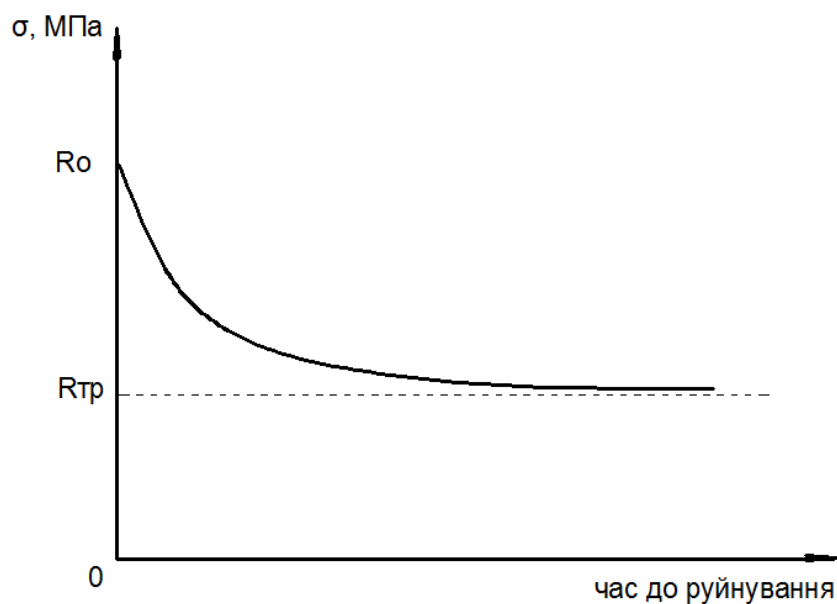


Рис. 2. Крива тривалого опору деревини

Визначення розрахункового і розрахункового тимчасового навантаження на конструкцію або з'єднання.

Розрахункове навантаження P – це навантаження, тривала дія якого не викликає втрати несучої здатності конструкції, тобто виникаючі від її дії напруження в найбільш напруженому місці конструкції, у граничному стані будуть дорівнювати розрахунковому опору ($\sigma = R$).

Розрахункове тимчасове навантаження $P_{mч}$ – це навантаження, що здатна сприйняти конструкція в режимі тимчасового випробування. Знаючи розрахункове навантаження P , тимчасове розрахункове можна визначити за формулою

$$P_{mч} = \frac{P}{m_{тр}}. \quad (4)$$

Для визначення розрахункового навантаження необхідно скласти рівняння міцності найбільш напружених перерізів, або окремих елементів і вирішити їх щодо P . Менше з отриманих значень і буде розрахунковим.

5. Оцінювання результатів випробувань, обстеження конструкції після руйнування

Дані вимірів основних деформацій системи представляють графічно залежно від розміру і числа ступенів навантаження. За значенням найбільшої деформації роблять висновок про жорсткість випробуваної конструкції або з'єднання. Аналізують графік залежності деформацій від навантаження і з'ясовують початок інтенсивного збільшення деформацій, якщо це має місце. За деформаціями матеріалу знаходять у межах пружної роботи величину напружень.

Несучу здатність випробуваної до руйнування конструкції оцінюють за показником коефіцієнта надійності (безпеки)

$$K_{\sigma} = \frac{P_{руйн}}{P_{mч}}, \quad (5)$$

Коефіцієнт безпеки являє собою інтегральний показник, що характеризує як рівень розвитку теорії й методів розрахунку, так і культуру виробництва конструкцій, якість використовуваного матеріалу. Цей показник у кінцевому рахунку визначає використання ресурсів матеріалу в конструкції і, отже, її економічність.

Після руйнування системи місце руйнування детально оглядають та зарисовують.

6. Контрольні питання

1. Мета і задачі проведення експериментальних досліджень.
2. Порядок проведення експерименту.
3. Вимоги до випробувальної установки.
4. Як визначаються розрахункові опори деревини?
5. Залежність міцності деревини від тривалості дії навантаження.

Лабораторна робота №1

ВИПРОБУВАННЯ З'ЄДНАННЯ ЛОБОВОЮ ВРУБКОЮ З ОДНИМ ЗУБОМ

Мета роботи: визначити розрахункове навантаження на з'єднання, ступенево завантажити зразок до руйнування із замірами деформацій зім'яття, порівняти експериментальні результати з теоретичними. Побудувати графік залежності деформацій від навантаження.

Характеристика досліджуваної конструкції

Випробування проводиться на моделі трикутної ферми (рис. 1.1), інвентарні розкоси якої виконані з деревини дуба. Клиновидний вкладиш гребінного вузла – металевий зварний. Розкоси приєднуються до нижнього пояса лобовими врубками. Нижній пояс центрується по ослабленому врубкою перерізу. Навантаження з випробувальної машини передається через клиновидний вкладиш й інвентарні розкоси рівномірно на площадку зім'яття та перпендикулярно до неї (геометрична вісь розкосу перпендикулярна до площадки зім'яття і проходить через її середину).

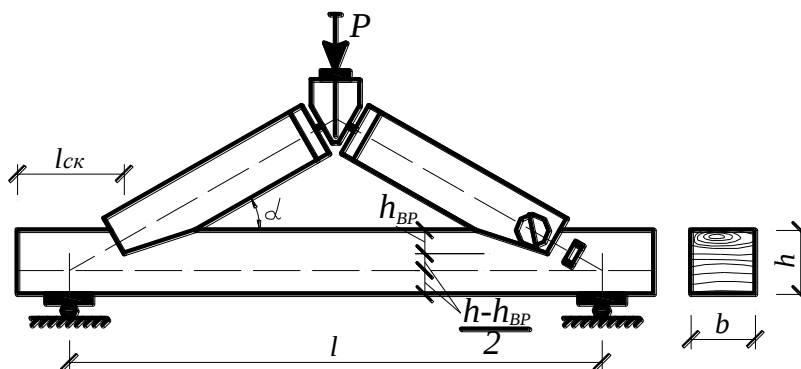


Рис. 1.1. Схема випробування

Визначення теоретичної міцності конструкції

Під впливом навантаження P у розкосах виникає зусилля стиску

$$N_c = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}. \quad (6)$$

Горизонтальна складова цього зусилля $N_p = N_c \cos \alpha$ викликає розтяг нижнього поясу і сколювання по площадці сколювання, а вертикальна передається на опору.

Найбільш напружені перерізи конструкції: $a-b$ (ділянка зім'яття), $b-c$ (площадка сколювання), $b-d$ (центрально розтягнутий переріз нижнього поясу). Виникаючі під впливом зовнішнього навантаження напруження у цих перерізах показано на рис. 1.2.

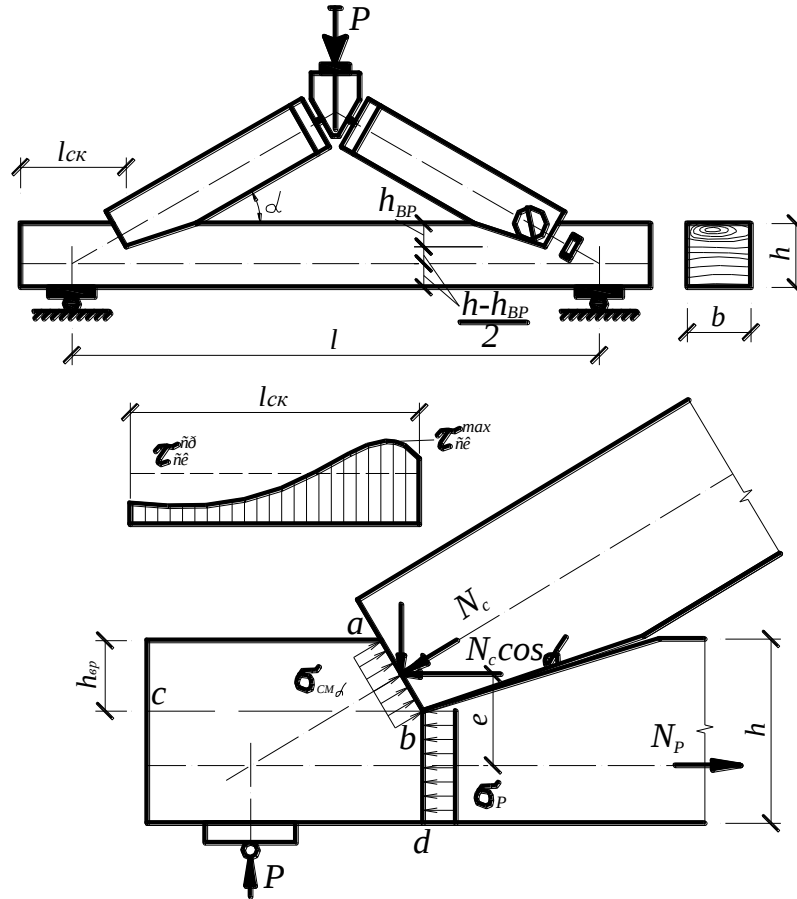


Рис. 1.2. Напружений стан вузла

1. Рівняння міцності по ділянці зім'яття (а–в):

$$\sigma = \frac{N_c}{A_{CM}} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{2 \cdot h_{ep} \cdot b \cdot \sin \alpha} = R_{CM}, \quad (7)$$

звідки

$$P_{CM} = 2 \cdot R_{CM, \alpha} \cdot h_{ep} \cdot b \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (8)$$

де h_{ep} –глибина врубки;

b – ширина перерізу нижнього поясу;

$R_{CM, \alpha}$ – розрахунковий опір зминання деревини під кутом α до напрямку волокон

$$R_{CM, \alpha} = \frac{R_{CM}}{1 + \left(\frac{R_{CM}}{R_{CM, 90^\circ}} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha}, \quad (9)$$

де R_{cm} і $R_{cm,90^\circ}$ – розрахунковий опір зім'яттю деревини відповідно вздовж і впоперек волокон.

2. Рівняння міцності по площадці сколювання ($b-c$):

$$\tau_{cp} = \frac{N \cdot \cos \alpha}{A_{ck}} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \ell_{ck} \cdot b \cdot \sin \alpha} = R_{ck}^{cp}, \quad (10)$$

звідки

$$P_{ck} = 2 \cdot R_{ck}^{cp} \cdot \ell_{ck} \cdot b \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (11)$$

де R_{ck}^{cp} – розрахунковий, середній по ділянці сколювання опір деревини сколюванню, що визначається за формулою

$$R_{ck}^{cp} = \frac{R_{ck}^{max}}{1 + \frac{\beta \cdot \ell_{ck}}{e}}, \quad (12)$$

де R_{ck}^{max} – розрахунковий опір деревини сколюванню вздовж волокон (максимальний у лобових врубках);

$\beta = 0,25$ – коефіцієнт для розрахунку на сколювання розтягнутих елементів з одностороннім розташуванням ділянки сколювання;

ℓ_{ck} – довжина ділянки сколювання (приймається за фактичним значенням, але не більше $10 h_{ep}$);

$e = 0,5 \cdot h$ – плече внутрішньої пари сил сколювання.

3. Рівняння міцності перерізу ($b-d$):

$$\sigma_p = \frac{N_p}{A_{nt}} = \frac{N_c \cdot \cos \alpha}{(h - h_{ep}) \cdot b} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \sin \alpha \cdot (h - h_{ep}) \cdot b} = R_p, \quad (13)$$

звідки

$$P_p = \frac{2 \cdot \sin \alpha \cdot (h - h_{ep}) \cdot b \cdot R_p}{\cos \alpha} = 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (h - h_{ep}) \cdot b \cdot R_p, \quad (14)$$

де R_p – розрахунковий опір деревини розтягу вздовж волокон.

Менше з трьох отриманих значень навантаження P і буде розрахунковим. Розрахункове тимчасове навантаження визначається за формулою (4).

Методика проведення випробування

Випробування проводиться на універсальній випробувальній машині УИМ-50 із десятитонною шкалою вимірювання зусиль. Навантажується випробувана конструкція ступенево з рівномірною швидкістю 10,0кН/хв. Розмір ступеня приймається рівним (0,1–0,2) $P_{Tч}$. Для вимірювання деформацій зім'яття лобової врубки на бічних гранях одного з розкосів ферми з двох сторін прикріплюють індикатори, штоки яких обпирають на упори, закріплені на нижньому поясі. Для спрощення опрацювання результатів рекомендується шкалу індикатора виставити на нуль після усунення деформацій обминання. Відліки необхідно записувати в журнал випробування.

Опрацювання результатів випробування

Повні деформації зім'яття врубки визначаються за даними відліків індикаторів, для чого з відліку при навантаженні певної ступені необхідно відняти нульовий відлік, а потім визначити середнє значення повної деформації за двома індикаторами.

По обчислених середніх значеннях деформацій будується графік залежності деформацій зім'яття врубки від навантаження і порівнюється з теоретичним, а також обчислюється коефіцієнт безпеки за формулою (5).

У висновку зазначається характер руйнування, дефекти, що вплинули на несучу здатність, встановлюється ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним, зарисовується характер руйнування.

Контрольні питання

1. Конструювання з'єднань лобовими врубками.
2. Визначення несучої здатності з'єднань лобовими врубками.
3. Залежність міцності деревини на зім'яття від кута дії сили до напрямку волокон.

Лабораторна робота №2

ВИПРОБУВАННЯ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ НА ЗГИН

Мета роботи: визначити розрахункове навантаження на балку та прогин при розрахунковому навантаженні, ступенево завантажити балку в межах розрахункового навантаження із замірами прогину і відносних деформацій волокон, порівняти експериментальні результати з теоретичними.

Характеристика досліджуваної конструкції

Випробовується модель клеєдощатої балки прямокутного перерізу постійної висоти, яка виготовлена з соснових дощок 2-го сорту товщиною 32 мм після обстругування. Модель балки виготовлена з натурної конструкції, виготовленої в цеху клеєних дерев'яних конструкцій Коростишівського будівельного комбінату (рис. 2.1).

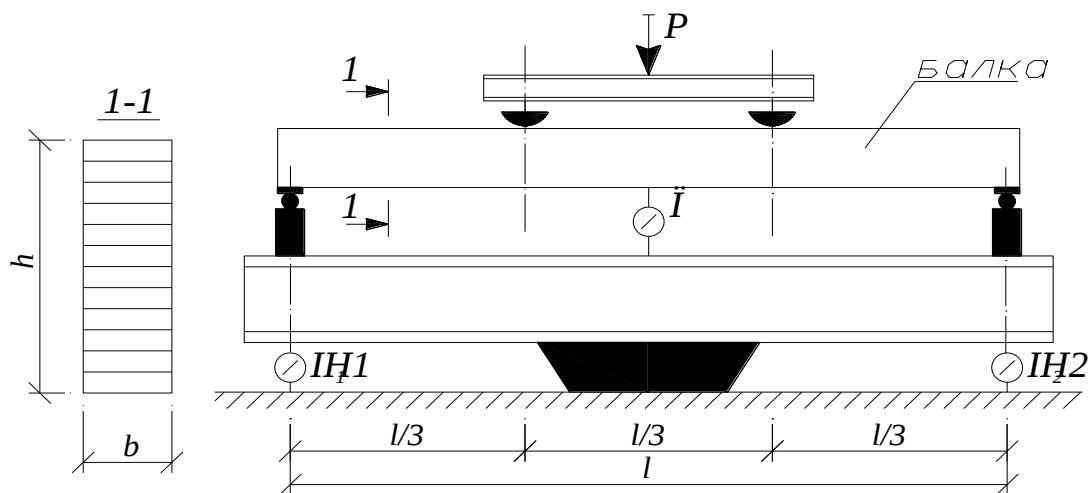


Рис. 2.1. Схема установки для випробування балки

Визначення теоретичної міцності балки

Розрахункова схема балки й епюри згинаючих моментів і поперечних сил показані на рис. 2.2.

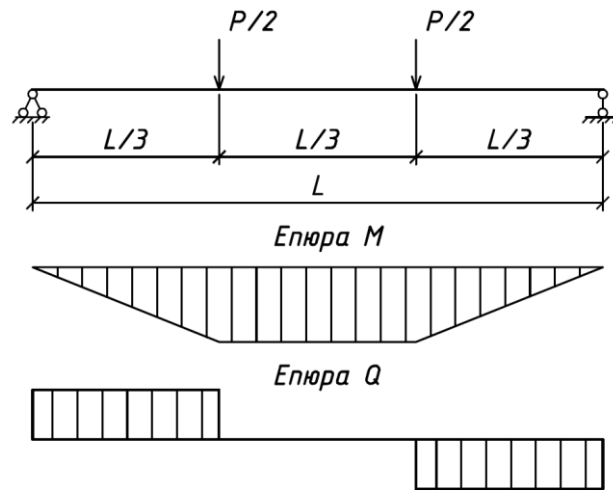


Рис. 2.2. Розрахункова схема балки

Теоретична міцність балки визначається з умов:

а) дії максимального згинаючого моменту, що викликає появу нормальних напружень:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot \ell / 6}{b \cdot h^2 / 6} = \frac{P \cdot \ell}{b \cdot h^2} = R_u, \quad (15)$$

звідки

$$P_u = \frac{R_u \cdot b \cdot h^2}{\ell}, \quad (16)$$

де R_u – розрахунковий опір деревини згину.

б) дії максимальної поперечної сили Q , що викликає появу дотичних напружень

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{b \cdot I} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot b \cdot h} = R_{ск}, \quad (17)$$

звідки

$$P_{ск} = \frac{4}{3} R_{ск} \cdot b \cdot h, \quad (18)$$

де S – статичний момент перерізу;

I – момент інерції перерізу;

$R_{ск}$ – розрахунковий опір сколюванню при згині.

Менше із цих двох значень і буде розрахунковим.

Визначення теоретичного прогину

Теоретичний прогин балки в середині прольоту при розрахунковому навантаженні з урахуванням деформацій зсуву визначається за формулою

$$f_m = f_0 \left[1 + c \left(\frac{h}{\ell} \right)^2 \right], \quad (19)$$

де $f_0 = \frac{23 \cdot P \cdot \ell^2}{1296 \cdot E \cdot I}$ прогин балки без урахування деформацій зсуву;

$E = 10^3 \text{ кН/см}^2$ – модуль пружності деревини;

$C = 19$ – коефіцієнт, що враховує вплив деформацій зсуву від поперечної сили.

Методика проведення випробування

Випробування проводиться на універсальній випробувальній машині УИМ-50. Для вимірювання прогину балки в середині прольоту встановлюється прогиномір 6ПАО з ціною поділки 0,01 мм, а на опорах – індикатори годинникового типу.

Для вимірювання відносних деформацій волокон у зоні чистого згину наклеєні тензодатчики опору з коефіцієнтом тензочутливості 2,25. Для реєстрації деформацій використовується автоматичний вимірник деформацій АИД-4 із ціною поділки 10^{-5} . Схема розміщення тензодатчиків показана на рис. 2.3.

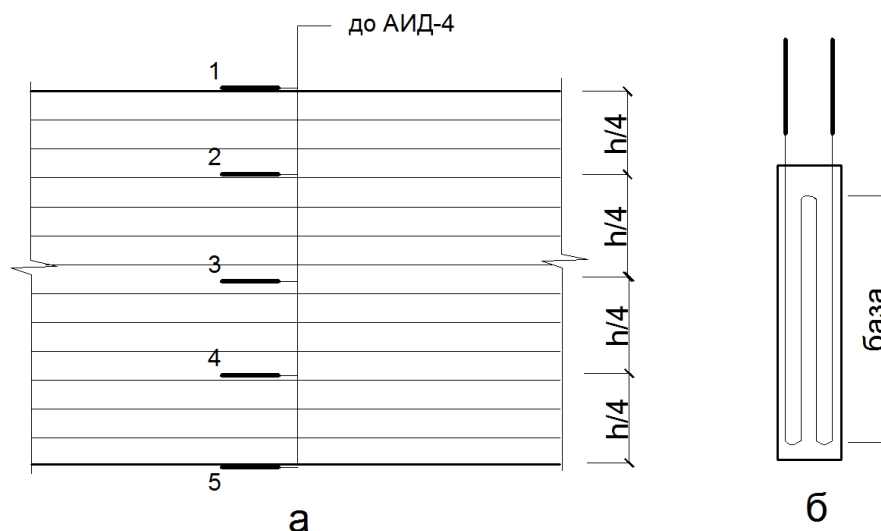


Рис. 2.3. Схема розміщення тензодатчиків (а), загальний вигляд тензодатчика (б)

Балка завантажується ступенями при рівномірному збільшенні навантаження зі швидкістю $7 \pm 1,5 \text{ кН/хв}$. Розмір ступеня приймається рівним 0,2 від розрахункового навантаження.

Опрацювання результатів випробування

1. Експериментальні прогини балки визначаються за відліками прогиноміра Π та індикаторів I_1, I_2 за залежністю

$$f_{\text{екс}} = \Delta\Pi - \Delta I_{\text{сер}}, \quad (20)$$

де $\Delta\Pi = \Pi^P - \Pi^0$ – різниця відліків за прогиноміром;

$\Delta I_{\text{сер}} = I_{\text{сер}}^P - I_{\text{сер}}^0$ – різниця середніх значень відліків за індикаторами;

$I_{\text{сер}} = \frac{I_1 + I_2}{2}$ – середнє значення відліків двох індикаторів;

Π^P, Π^0 – відліки за прогиноміром відповідно при навантаженні певного ступеня і при $P = 0$;

$I_{\text{сер}}^P - I_{\text{сер}}^0$ – середні значення відліків за індикаторами при навантаженні певного ступеня і при $P = 0$.

2. Експериментальні значення напружень визначаються за законом Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_i, \quad (21)$$

де $\varepsilon_i = 10^{-5}(A_p - A_0)$ – відносна деформація волокон у місці розміщення i -го тензодатчика;

A_p, A_0 – відліки за АИД-4 відповідно при певному ступені навантаження і нульовий.

За обчисленими значеннями прогинів і напружень будуються експериментальний та теоретичний графіки прогинів і епюри напружень по висоті поперечного перерізу.

У висновку відмічається ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним. У випадку значної розбіжності результатів необхідно виявити причини цього й зазначити їх.

Контрольні питання

1. Розрахунок елементів, що згинаються, за двома групами граничних станів.
2. Вплив дотичних напружень на прогин балок.
3. Характер розподілу нормальних напружень по висоті поперечного перерізу в елементах, що згинаються.

Лабораторна робота №3 ВИПРОБУВАННЯ МОДЕЛІ РЕБРИСТОЇ КЛЕСЬФАНЕРНОЇ ПАНЕЛІ НА ЗГИН

Мета роботи: визначити розрахункове навантаження на панель та прогин її при розрахунковому навантаженні, ступенево завантажити панель в межах розрахункового навантаження із замірами прогину і відносних деформацій волокон фанерних обшивок, порівняти експериментальні результати з теоретичними.

Характеристика досліджуваної конструкції

Випробується фрагмент ребристої панелі, що складається з двох фанерних обшивок і дерев'яного каркасу зі струганих соснових дошок 2-го сорту (рис. 3.1). Обшивки з каркасом з'єднані на клею.

Схема випробування і конструкція панелі

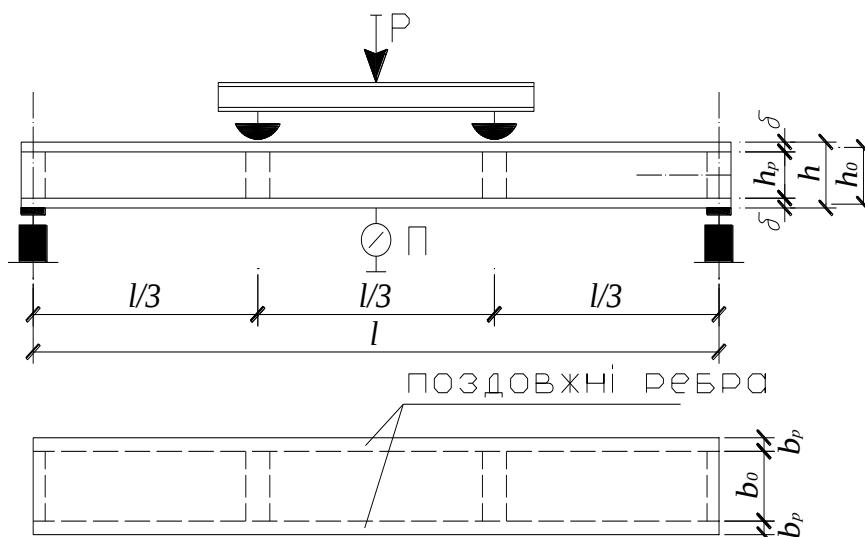


Рис. 3.1. Схема випробування і конструкція панелі

Визначення теоретичної міцності панелі

Теоретична міцність панелі визначається за умов:

а) міцності нижньої розтягнутої обшивки

$$\sigma = \frac{M}{W_{np}} = \frac{P \cdot \ell}{6 \cdot W_{wp}} = R_{ф.р.} \cdot \kappa_{\phi}, \quad (22)$$

звідки

$$P = \frac{6 \cdot R_{ф.р.} \cdot \kappa_{\phi} \cdot W_{wp}}{\ell}, \quad (23)$$

де $R_{ф.р.}$ – розрахунковий опір фанери розтягу;

κ_{ϕ} – коефіцієнт зменшення розрахункового опору при наявності стиків ($\kappa_{\phi} = 1$ при відсутності стиків);

$W_{wp} = \frac{2 \cdot I_{np}}{h}$ – зведений момент опору поперечного перерізу;

$I_{np} = I_{\phi} + I_{\delta} \frac{E_{\delta}}{E_{\phi}} = 2 \left[A_{\phi}^n \left(\frac{h_0}{2} \right)^2 + \frac{b_p \cdot h_p^3 \cdot E_{\delta}}{12 \cdot E_{\phi}} \right]$ – зведений момент інерції поперечного перерізу;

$A_{\phi}^n = (0,9 \cdot b_0 + 2 \cdot b_p) \cdot \delta$ – розрахункова площа поперечного перерізу фанерної обшивки (коефіцієнт 0,9 враховує нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині обшивок і визначається як відношення $\frac{\sigma_{сер}}{\sigma_{max}}$);

E_o, E_{ϕ} – модулі пружності деревини і фанери відповідно;

б) міцності верхньої стиснутої обшивки

$$\sigma = \frac{M}{W_{np}} = \frac{P \cdot l}{6 \cdot W_{np}} = R_{\phi.c.} \cdot \varphi_{\phi}, \quad (24)$$

звідки

$$P = \frac{6 \cdot R_{\phi.c.} \cdot \varphi_{\phi} \cdot W_{np}}{l}, \quad (25)$$

де $R_{\phi.c.}$ – розрахунковий опір фанери стиску;

φ_{ϕ} – коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається за формулами:

$$\varphi_{\phi} = 1 - \frac{\left(\frac{b_0}{\delta_{\phi}}\right)^2}{5000}, \text{ якщо } \frac{b_0}{\delta_{\phi}} \leq 50,$$

$$\text{або } \varphi_{\phi} = \frac{1250}{\left(\frac{b_0}{\delta_a}\right)^2}, \text{ якщо } \frac{b_0}{\delta_{\phi}} \geq 50.$$

в) міцності клейових швів на сколювання

$$\tau = \frac{Q \cdot S_n}{\sum b_p \cdot I_{np}} = \frac{P \cdot S_n}{2 \cdot I_{np} \cdot 2 \cdot b_p} = R_{\phi.ск.}, \quad (26)$$

звідки

$$P = \frac{4 \cdot I_{np} \cdot b_p \cdot R_{\phi.ск.}}{S_n}, \quad (27)$$

де $S = \frac{h_0 \cdot A_{\phi}^n}{2}$ – статичний момент перерізу обшивки,

$R_{\phi.ск.}$ – розрахунковий опір фанери сколюванню.

Менше із цих трьох значень навантажень і буде розрахунковим.

Визначення теоретичного прогину панелі

Теоретичний прогин панелі в середині прольоту при розрахунковому навантаженні з урахуванням деформацій зсуву визначається за формулою

$$f_m = \frac{23 \cdot P_{роз} \cdot l^3}{648 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot E_\phi \cdot I_{np}} = \frac{23 \cdot P_{роз} \cdot l^3}{907 \cdot E_\phi \cdot I_{np}}, \quad (28)$$

де $E_\phi = 11 \cdot 10^3 \text{ кН/см}^2$ – модуль пружності тришарової панелі;

0,7 – коефіцієнт, що враховує вплив на прогин деформацій зсуву в клейових швах від дії поперечної сили.

Визначення теоретичних напружень в обшивках панелі

Значення максимальних нормальних напружень у нижній розтягнутій та верхній стиснутій обшивках панелі визначаються за формулами

$$\sigma = \frac{M}{W_{np}} = \frac{P_{роз} \cdot l}{6 \cdot W_{np}}; \quad (29)$$

$$\sigma = \frac{M}{W_{np} \cdot \varphi_\phi} = \frac{P_{роз} \cdot l}{6 \cdot W_{np} \cdot \varphi_\phi}. \quad (30)$$

Методика проведення випробування

Випробування проводиться на універсальній випробувальній машині УМ-5А. Для вимірювання прогину панелі в середині прольоту встановлюються два індикатори годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0,01 мм. Для вимірювання відносних деформацій волокон фанерних обшивок у зоні чистого згину наклеєні тензорезистори. Для реєстрації деформацій використовується автоматичних вимірювач деформацій АИД-4 з ціною поділки 10^{-5} . Схема розміщення тензорезисторів показана на рис. .

Панель завантажується ступенями при рівномірному збільшенні навантаження зі швидкістю $7 (\pm 1,5) \text{ кН/хв}$. Розмір ступеня приймається рівним $\sim 0,2$ від розрахункового навантаження.

Опрацювання результатів випробування

Експериментальні значення прогинів визначаються за даними відліків за індикаторами. Експериментальні значення напружень обчислюють за значеннями відносних деформацій волокон, застосовуючи закон Гука

$$\sigma_i = E_\phi \cdot \varepsilon_i = E_\phi \cdot 10^{-5} (A_p - A_0), \quad (31)$$

де E_ϕ – модуль пружності фанерних обшивок;

A_p, A_0 – відліки за АИД-4 відповідно при розрахунковому навантаженні та нульовий.

За обчисленими значеннями прогинів і напружень будуються експериментальний графік прогинів та епюри напружень по ширині

верхньої й нижньої обшивок та обчислюється коефіцієнт нерівномірності розподілу напружень $\kappa = \frac{\sigma_{сер}}{\sigma_{max}}$.

У висновку вказується ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним. У випадку значної розбіжності результатів виявляються й аналізуються причини цієї розбіжності.

Контрольні питання

1. Особливості розрахунку комбінованих елементів, що складаються з матеріалів із різними модулями пружності.
2. Визначення теоретичної міцності ребристих панелей.
3. Характер розподілу напружень по ширині обшивок ребристих панелей. Урахування нерівномірності розподілу напружень у розрахунках.

Лабораторна робота №4

ВИПРОБУВАННЯ БАЛКИ СКЛАДЕНОГО ПЕРЕРІЗУ НА ПЛАСТИНЧАСТИХ НАГЕЛЯХ

Мета роботи: визначити розрахункове навантаження на балку та прогин її при розрахунковому навантаженні, ступенево завантажити балку в межах розрахункового навантаження із замірами прогину, відносних деформацій волоконна деформацій зсуву, визначити нормальні напруження для поперечного перерізу балки в зоні чистого згину розрахунком та експериментально, порівняти експериментальні результати з теоретичними.

Характеристика досліджуваної конструкції

Випробовується модель балки складеного перерізу, що складається з двох соснових брусків другого сорту, з'єднаних між собою дубовими пластинчастими нагелями. Загальний вигляд балки показано на рис. 4.1.

Визначення теоретичної міцності балки

Розрахункова схема балки зображена на рис.4.1.

Теоретична міцність балки визначається з двох умов:

- а) дії максимального згинаючого моменту, що викликає появу нормальних напружень

$$\sigma = \frac{M}{W \cdot k_w} = \frac{P \cdot \ell / 6}{k_w \cdot b \cdot h^2 / 6} = \frac{P \cdot \ell}{k_w \cdot b \cdot h^2} = R_u, \quad (32)$$

звідки

$$P_u = \frac{R_u \cdot k_w \cdot b \cdot h^2}{\ell}, \quad (33)$$

де, R_u – розрахунковий опір деревини згину;

k_w – коефіцієнт до моменту опору, що враховує піддатливість вязів ($k_w = 0,7$ – для балки прольотом до 2 м, складеної з двох брусів).

б) впливу максимальної поперечної сили (роботи нагелів на зсув):

повне зусилля зсуву на ділянці від опори до першої сили

$T_{zc} = \frac{\Delta M \cdot S_{\delta p}}{I_{np}}$ повинне сприйматися нагелями, загальна кількість яких

$\sum T_{наг} = n \cdot T_{наг}$, де n – кількість пластинчастих нагелів на половині прольоту балки; $I_{\delta p}$ – момент інерції бруто перерізу, $S_{\delta p}$ – статичний момент бруто перерізу; $T_{наг} = 0,14 \cdot l_{nl} \cdot b_{nl}$ – несуча здатність одного нагеля; l_{nl}, b_{nl} – розміри пластинчастого нагеля.

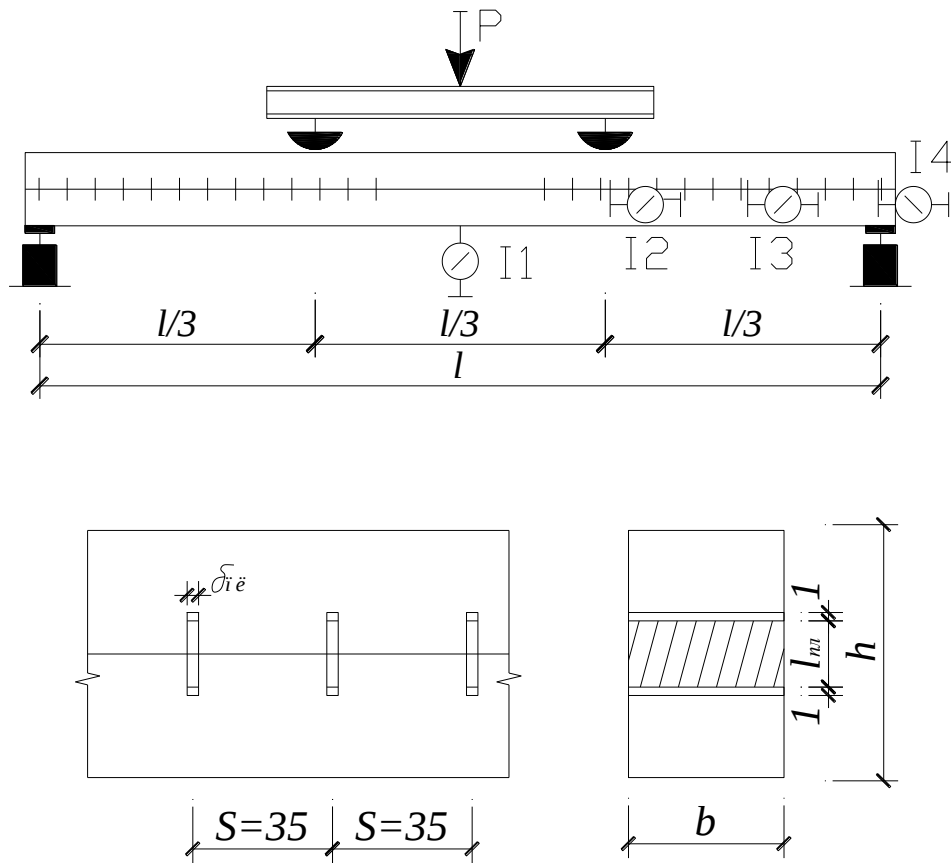


Рис. 4.1. Конструкція балки складеного перерізу

Визначення теоретичної міцності балки

Схема випробування балки зображена на рис. 4.2.

Теоретична міцність балки визначається з двох умов:

а) дії максимального згинаючого моменту, що викликає появу нормальних напружень

$$\sigma = \frac{M}{W \cdot k_w} = \frac{P \cdot \ell / 6}{k_w \cdot b \cdot h^2 / 6} = \frac{P \cdot \ell}{k_w \cdot b \cdot h^2} = R_u, \quad (34)$$

звідки

$$P_u = \frac{R_u \cdot \kappa_w \cdot b \cdot h^2}{\ell}, \quad (35)$$

де, R_u – розрахунковий опір деревини згину;

κ_w – коефіцієнт до моменту опору, що враховує піддатливість вязів ($\kappa_w = 0,7$ – для балки прольотом до 2 м, складеної з двох брусів).

б) впливу максимальної поперечної сили (роботи нагелів на зсув):

повне зусилля зсуву на ділянці від опори до першої сили

$$T_{zc} = \frac{\Delta M \cdot S_{\bar{o}p}}{I_{np}} \text{ повинне сприйматися нагелями, загальна кількість яких}$$

$\sum T_{наг} = n \cdot T_{наг}$, де n – кількість пластинчастих нагелів на половині прольоту балки; $I_{\bar{o}p}$ – момент інерції бруто перерізу, $S_{\bar{o}p}$ – статичний момент бруто перерізу; $T_{наг} = 0,14 \cdot l_{nl} \cdot b_{nl}$ – несуча здатність одного нагеля; l_{nl}, b_{nl} – розміри пластинчастого нагеля.

Оскільки $\Delta M = \frac{P \cdot l}{6}$, із рівняння $T_{zc} = \sum T_{наг}$ маємо

$$P_{наг} = \frac{4 \cdot T_{наг} \cdot h \cdot n}{l}. \quad (36)$$

Менше з двох отриманих значень навантаження і буде розрахунковим.

Визначення теоретичного прогину

Теоретичний прогин балки в середині прольоту при розрахунковому навантаженні визначається за формулою

$$f_{теор} = \frac{23 \cdot P \cdot l^3}{1296 \cdot E \cdot I \cdot k_{жс}}, \quad (37)$$

де $E = 10^3 \text{ кН} / \text{см}^2$ – модуль пружності деревини;

$k_{жс}$ – коефіцієнт до моменту інерції, що враховує піддатливість вязів (для балки складеної з двох брусів прольотом до 2 метрів $k_{жс} = 0,45$).

Методика проведення випробування

Випробування проводиться на універсальній випробувальній машині УМ-5А. Для вимірювання прогину балки в середині прольоту встановлюється індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Зсуви між брусками у площині з'єднання вимірюються теж за допомогою індикаторів. Для вимірювання відносних деформацій волокон по висоті поперечного перерізу у зоні чистого згину наклеєні тензорезистори. Для реєстрації цих деформацій використовується автоматичний вимірювач деформацій АИД-4 з ціною поділки 10^{-5} . Схема розміщення тензорезисторів показана на рис. 4.2. Завантажується балка ступенями при рівномірному збільшенні навантаження зі швидкістю 7 ($\pm 1,5$) кН/хв. Розмір ступеня приймається рівним $\approx 0,2$ від розрахункового навантаження.

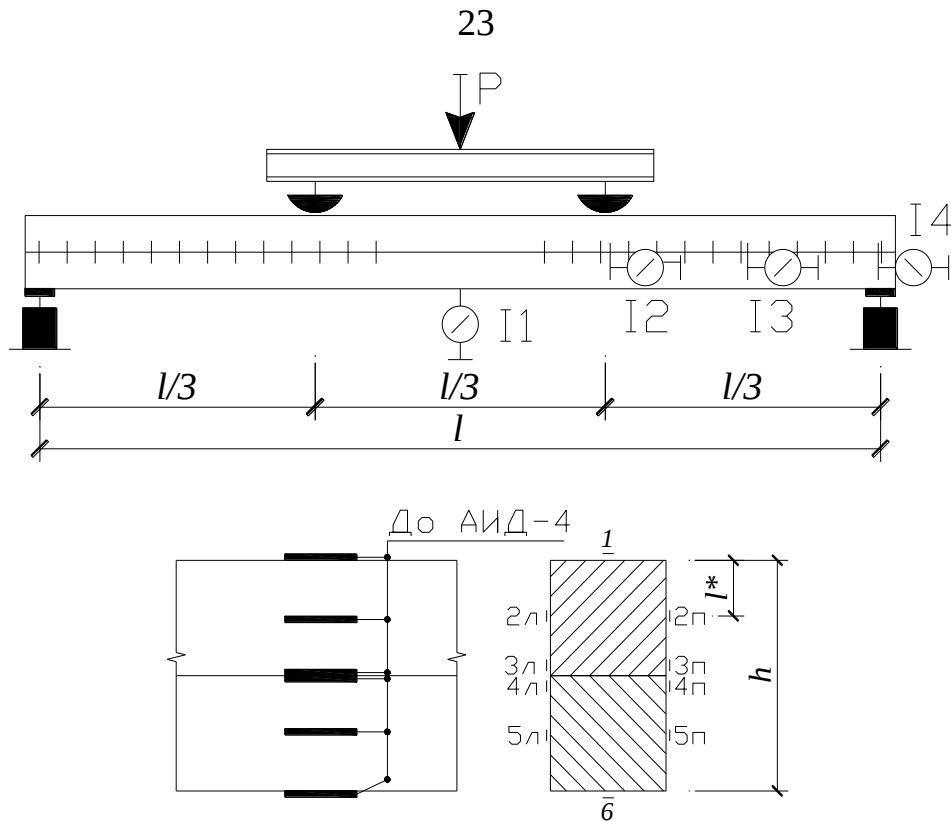


Рис. 4.2. Схема випробування балки: а – загальний вигляд; б – схема розміщення тензорезисторів

Опрацювання результатів випробування

Експериментальні значення прогинів і деформацій зсуву визначаються за даними відліків за індикаторами. Експериментальні значення напружень обчислюють за значеннями відносних деформацій волокон, застосовуючи закон Гука

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i = E \cdot 10^{-5} (A_p - A_0), \quad (38)$$

де E_0 – модуль пружності деревини;

A_p, A_0 – відліки за АИД-4 відповідно при розрахунковому навантаженні та нульовий.

За обчисленими значеннями прогинів, деформацій зсуву і напружень будуються експериментальний графік прогинів й епюри нормальних напружень по висоті перерізу балки, та зсувів між брусками по довжині балки.

У висновку вказується ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним. У випадку значної розбіжності результатів виявляються причини цієї розбіжності й зазначаються.

Контрольні питання

1. Розрахунок елементів на піддатливих в'язях, що згинаються, за двома групами граничних станів.
2. Визначення несучої здатності пластинчастого нагеля.
3. Конструювання з'єднань на пластинчастих нагелях.
4. Характер розподілу нормальних напружень по висоті поперечного перерізу складеної балки на піддатливих в'язях.

Лабораторна робота №5 ВИПРОБУВАННЯ З'ЄДНАННЯ ЦВЯХАМИ

Мета роботи: визначити розрахункове навантаження на з'єднання, випробувати його до руйнування, встановити характер деформування та порівняти експериментальні результати з теоретичними.

Характеристика досліджуваної конструкції

Для випробування використовується стик трьох дерев'яних брусків, з'єднаних між собою цвяхами (рис. 5.1). Зразок виготовляється із струганих дощок хвойних або листяних порід із вологістю 10-15%. Цвяхи забиваються перпендикулярно у зібраних пакетах за розміченими рисками. Для усунення впливу сил тертя в суміжних елементах на результати при збиранні пакета між з'єднуваними брусками залишається зазор до 2 мм.

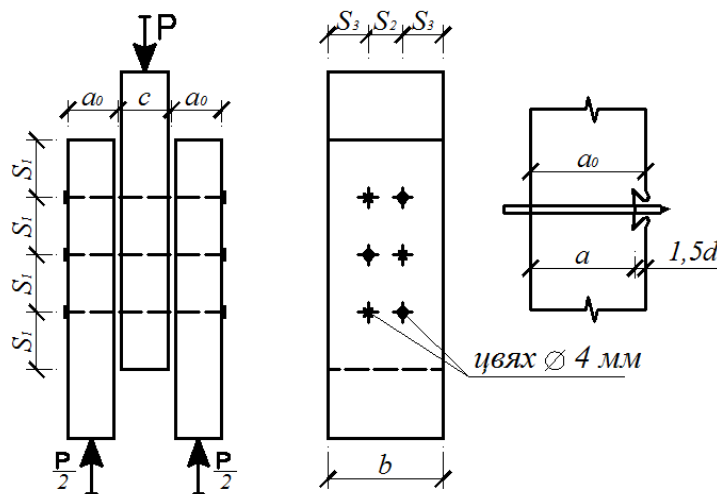


Рис. 5.1. Конструкція випробуваного зразка

Визначення теоретичної міцності стику

Теоретична міцність стику визначається із трьох умов: міцності стиснутих уздовж волокон середнього і крайніх елементів та міцності (несучої здатності) цвяхового з'єднання.

1. Рівняння міцності середнього елемента на стиск уздовж волокон

$$\sigma_c^{сер} = \frac{P}{A_{нт}} = \frac{P}{c \cdot (b - 2d)} = R_c, \quad (39)$$

звідки $P_c = R_c \cdot c \cdot (b - 2 \cdot d)$,

де R_c – розрахунковий опір деревини стиску вздовж волокон.

2. Рівняння міцності двох накладок на стиск уздовж волокон

$$\sigma_c^{накл} = \frac{P}{A_{нт}} = \frac{P}{2 \cdot a \cdot (b - 2d)} = R_c, \quad (40)$$

$$\text{звідки } P_{\text{накл}} = 2 \cdot a \cdot R_c \cdot (b - 2 \cdot d),$$

де a – розрахункова товщина крайнього елемента, що визначається з урахуванням можливого відщеплення деревини при наскрізному забиванні цвяхів за формулою $a = a_0 - 0,75 \cdot d_{\text{цв}}$.

3. Рівняння міцності цвяхового з'єднання

$$P_{\text{цв}} = T_{\text{роз.}} \cdot n \cdot m \quad (41)$$

де $T_{\text{роз}}$ – розрахункова несуча здатність симетричного з'єднання, віднесена до одного умовного зрізу цвяха, визначається як менше зі іначгнь, отриманих із трьох умов:

а) зім'яття деревини в нагельних гніздах середнього елемента

$$T_c = 0,5 \cdot c \cdot d \cdot m_n; \quad (42)$$

б) те ж крайніх елементів

$$T_a = 0,8 \cdot a \cdot d \cdot m_n; \quad (43)$$

в) згину цвяха

$$T_u = (2,5 \cdot d^2 + 0,01 \cdot a^2) \cdot \sqrt{m_n}; \quad (44)$$

$$T_u = 4 \cdot d^2 \cdot \sqrt{m_n}; \quad (45)$$

де m_n – перехідний коефіцієнт для порід деревини відмінних від сосни і ялини (для сосни та ялини $m_n = 1$);

m – розрахункова кількість цвяхів;

n – кількість умовних зрізів одного цвяха.

Менше з трьох отриманих значень навантаження P буде розрахунковим. Розрахункове тимчасове навантаження визначається за формулою (4), якщо розрахункова несуча здатність цвяха отримана з умови зім'яття деревини і за формулою

$$P_{\text{ти}} = \frac{P}{\sqrt{m_n}}, \quad (46)$$

якщо з умови згину цвяха.

Методика проведення випробування

Випробування проводиться на універсальній випробувальній машині УМ-5А за двотонною шкалою вимірювання навантаження. Для усунення впливу неробочих деформацій зразок попередньо завантажується навантаженням 1 кН, що приймається надалі за умовний нуль. Навантаження збільшується ступенями по 2 кН із розвантаженням після кожного циклу до умовного нуля. Відліки індикаторів фіксуються у той момент, коли навантаження досягає відповідного ступеня, і при умовному нулі. Результати записуються в журналі випробування.

Опрацювання результатів випробування

У журналі випробування обчислюються значення повних, пружних і залишкових деформацій за цикл, а також повної деформації зсуву. Для визначення повної деформації за певний цикл навантаження потрібно з

відліку при навантаженні відняти попередній відлік при умовному нулі. Для визначення пружної деформації необхідно з відліку при навантаженні відняти відтік при наступному умовному нулі (рис. 5.2). Залишкова деформація за цикл визначається як різниця між повною і пружною деформаціями.

Руйнівне навантаження визначається за графіком залежності між пружними і залишковими деформаціями. Кожна точка цього графіка відповідає певному ступеню навантаження. Навантаження, при якому спостерігається різке зростання залишкових деформацій, буде руйнівним (йому відповідає точка перелому двох прямих) (рис. 5.3).

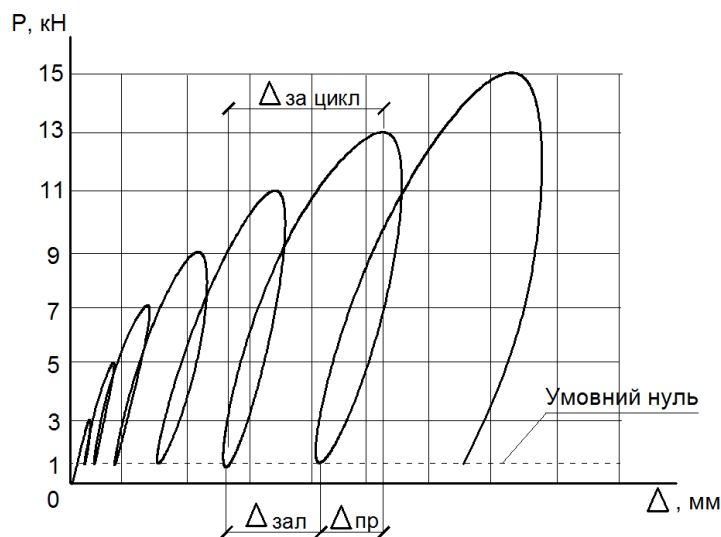


Рис. 5.2. Графік залежності між навантаженням і деформаціями

Повна деформація зсуву дорівнює різниці між відліками індикаторів при певному ступені навантаження і до випробування. За значеннями повної деформації зсуву будується графік залежності деформацій від навантаження та визначається значення деформації при руйнівному навантаженні.

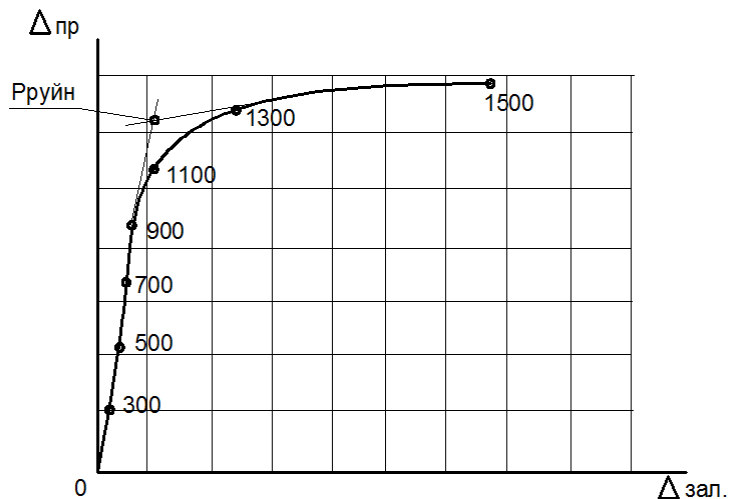


Рис. 5.3. Графік залежності між пружною і залишковою деформаціями

За формулою (5) обчислюється коефіцієнт безпеки і знаходиться відношення фактичної деформації зсуву при руйнівному навантаженні до граничної, що дорівнює 2 мм.

У висновку зазначається характер руйнування та ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним.

Контрольні питання

1. Конструювання з'єднань цвяхами.
2. Визначення несучої здатності з'єднань цвяхами.
3. Види з'єднань цвяхами й особливості їх розрахунку.
4. Як визначають фактичне руйнівне навантаження з умови згину цвяхів.

Лабораторна робота №6

ВИПРОБУВАННЯ ДВОТАВРОВОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ ЗІ СТІНКОЮ З ОРІЄНТОВАНО-СТРУЖКОВОЇ ПЛИТИ (OSB) НА ЗГИН

Мета роботи: визначити теоретичну міцність балки; визначити прогини балки в середині прольоту розрахунком і експериментально; визначити нормальні напруження для поперечного перерізу балки в зоні чистого згину розрахунком та експериментально, порівняти отримані результати.

Характеристика досліджуваної конструкції

Випробовується модель двотаврової дерев'яної балки постійної висоти, пояса якої виготовлено з сосни 1-го сорту, а стінку з OSB-3 рис. 6.1.

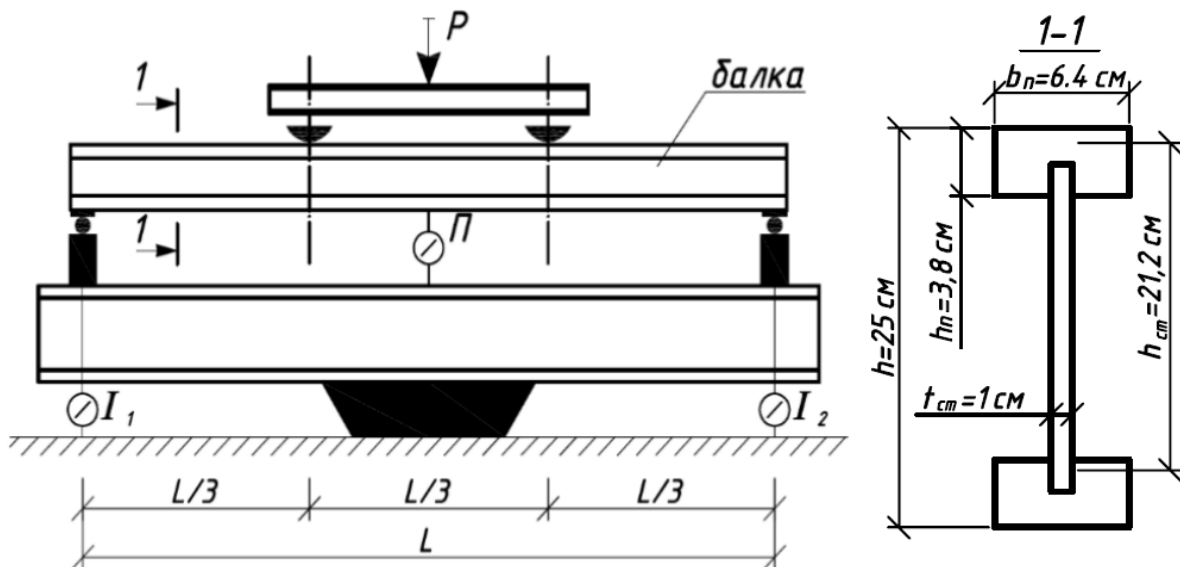


Рис. 6.1. Схема установки для випробування балки

Визначення теоретичної міцності балки

Розрахункова схема балки й епюри згинаючих моментів і поперечних сил показані на рис. 6.2.

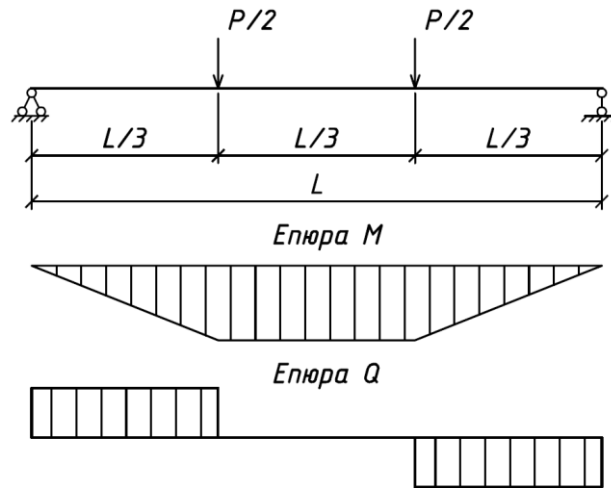


Рис. 6.2. Розрахункова схема балки.

Теоретична міцність балки визначається з умов:

а) дії максимального згинаючого моменту, що викликає появу нормальних напружень у верхньому стиснутому поясі:

$$\frac{M}{W_{np}} = \frac{P \cdot L \cdot y_0}{6 \cdot I_{np}} = R_c \cdot \varphi, \quad (47)$$

Звідки,

$$P = \frac{6 \cdot I_{np} \cdot R_c \cdot \varphi}{L \cdot y_0}, \quad (48)$$

де зведений момент інерції

$$I_{np} = 2 \cdot I_n + I_{cm} \cdot \frac{E_{cm}}{E_n} = 2 \cdot \left(\frac{b \cdot h_n^3}{12} - \frac{t_{cm} \cdot a^3}{12} + A_n \cdot \left(\frac{h}{2} - y_n \right)^2 \right) + \frac{t_{cm} \cdot (h_1 + 2a)^3}{12} \cdot \frac{E_{cm}}{E_n}, \quad (49)$$

де R_c – розрахунковий опір розтягу деревини.

б) дії максимального згинаючого моменту, що викликає появу нормальних напружень у нижньому розтягнутому поясі:

$$\frac{M}{W_{np}} = \frac{P \cdot L \cdot y_0}{6 \cdot I_{np}} = R_p, \quad (50)$$

Звідки,

$$P = \frac{6 \cdot I_{np} \cdot R_p}{L \cdot y_0}, \quad (51)$$

де R_p – розрахунковий опір розтягу деревини.

в) дії максимальної поперечної сили Q , що викликає появу дотичних напружень

$$\frac{Q \cdot S_{np,cm}}{I_{np,cm} \cdot t_{cm}} = R_{ск,cm}, \quad (52)$$

де

$$S_{np,cm} = A_n \frac{h - 2 \cdot y_n}{2} \cdot \frac{E_n}{E_{cm}} + \frac{t_{cm} \cdot (h_1 + 2a)^2}{8}, \quad (53)$$

$R_{ск,cm}$ – розрахунковий опір орієнтовано–стружкової плити на сколювання.

Менше із цих значень і буде розрахунковим.

Визначення теоретичного прогину

Теоретичний прогин балки в середині прольоту при розрахунковому навантаженні визначається за формулою

$$f = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E_n \cdot I_{np}} = \frac{5 \cdot P \cdot L^3}{288 \cdot E_n \cdot I_{np}}. \quad (54)$$

Методика проведення випробування

Випробування проводять на універсальній випробувальній машині УИМ-50. Для вимірювання прогину балки в середині прольоту встановлюється прогиномір 6ПАО з ціною поділки 0,01 мм, а на опорах – індикатори годинникового типу. Для вимірювання відносних деформацій волокон у зоні чистого згину наклеєні тензодатчики опору з коефіцієнтом тензочутливості 2,25. Для реєстрації деформацій використовується автоматичний вимірник деформацій АИД-4 з ціною поділки 10^{-5} . Балка завантажується ступенями при рівномірному збільшенні навантаження. Розмір ступеня приймається рівним приблизно 0,2 від розрахункового навантаження.

Оцінювання результатів випробування

1. Експериментальні прогини балки визначаються за відліками прогиноміра П та індикаторів І1, І2 за залежністю $f_{екс} = \Delta П - \Delta I_{сер}$.

2. Експериментальні значення напружень визначаються за законом Гука $\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i$.

За обчисленими значеннями прогинів і напружень будують експериментальний та теоретичний графіки прогинів і епюри напружень по висоті поперечного перерізу.

У висновку відмічається ступінь відповідності експериментальних даних теоретичним. У випадку значної розбіжності результатів необхідно виявити причини цього й зазначити їх.

Контрольні питання

1. Розрахунок елементів, що згинаються, за двома групами граничних станів.
2. Вплив дотичних напружень на прогин балок.
3. Характер розподілу нормальних напружень по висоті поперечного перерізу в елементах, що згинаються.

Список літератури

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 31 с.
2. ДБН В.1.2.-2:2006. Навантаження і впливи. – К.: МБАта ЖКГ України, 2006. – 60 с.
3. ДБН В.2.6-131:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – К: Мінрегіонбуд України, 2010. – 102 с.
4. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас: Підручник / В.З. Клименко. – К.: Вища шк., 2000. – 304 с.
5. Слицкоухов В.Ю. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования: Учебное пособие для вузов / Ю.В. Слицкоухов, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, Б.А. Освенский, А.С. Сидоренко, Э.В. Филимонов, А.Ю. Фролов. – М.: Стройиздат, 1991. – 256 с.

Навчально-методичне видання

Будівельні конструкції : метод. вказ. до пров. лаб. практ. для студ. спец. 192 - Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання / [уклад. : В. А. Настоящий, В. В. Дарієнко, І. О. Скриннік, О. А. Плотніков, І. П. Заворуєва] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. будівельних, дорожніх машин і будівництва. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - 30с.

Редактор *В.О.Омельяненко*

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

Тиражування на різнографі *В.О.Омельяненко*.

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

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