

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра будівництва

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт із дисципліни
«Конструкції з деревини та пластмас»,
підготовки фахівців ОС «Бакалавр» за спеціальністю
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»**

Київ-2023

УДК 624:691.11:691.175(072)

Методичні вказівки складються із комплексу лабораторних робіт, які містять теоретичні та практичні відомості щодо розрахунку та конструювання будівельних конструкцій із деревини та пластмас за граничними станами першої та другої групи.

Рекомендовано Вченою радою факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 5 від 19 грудня 2023 р.).

Автор: М.В. Усенко

Рецензенти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри будівництва *Мар'єнков Микола Григорович*;
кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва Національного університету біоресурсів і природокористування України *Бакулін Євгеній Анатолійович*

Навчально-методичне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни
«Конструкції з деревини та пластмас»
підготовки фахівців ОС «Бакалавр»
за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»

Автор: УСЕНКО Микола Володимирович

Відповідальний за випуск – Бакулін Є.А., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри будівництва

Підписано до друку 25.12.23

Обл. - вид. арк. 6,2.

Наклад 100 пр.

Формат 60×84 1/16.

Ум. друк. арк. 6

Зам. № 230201.

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України.
Вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041
Тел. 527-80-49

ВСТУП

Визначення напружено-деформованого стану відповідальних будівельних конструкцій із деревини та пластмас є складовим елементом при вивченні вибіркової дисципліни *«Конструкції з деревини та пластмас»* підготовки фахівців ОС «Бакалавр», яка викладається на третьому курсі за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

У методичних вказівках наведений комплекс лабораторних робіт, що містять основні теоретичні та практичні відомості щодо розрахунку та конструювання конструкцій із деревини та пластмас за граничними станами першої та другої групи.

Вказівки розроблені у відповідності до робочої програми [1], навчального плану та освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія» [2]. Вони надають змогу набуття майбутніми фахівцями наступних *компетентностей*:

→ **Інтегральна компетентність (ІК).** Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі будівництва та цивільної інженерії у процесі навчання, що передбачає застосування комплексу теорій та методів визначення міцності, стійкості, деформативності, моделювання, посилення будівельних конструкцій; подальшої безпечної експлуатації, реконструкції, зведення та монтажу будівель та інженерних споруд; застосування систем автоматизованого проєктування у галузі будівництва.

→ **Загальні компетентності (ЗК):**

- **ЗК02** – знання та розуміння предметної області та професійної діяльності;
- **ЗК04** – здатність спілкуватися іноземною мовою;
- **ЗК06** – здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

→ **Спеціальні (фахові) компетентності:**

▸ **СК1** – здатність використовувати концептуальні наукові та практичні знання з математики, хімії та фізики для розв’язання складних практичних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії;

▸ **СК3** – здатність проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди та інженерні мережі, з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці;

▸ **СК5** – здатність застосовувати комп’ютеризовані системи проєктування та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних задач будівництва та цивільної інженерії;

▸ **СК7** – спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у сфері архітектури та будівництва у непередбачуваних робочих контекстах;

▸ **СК11** – Володіти методами проєктування, моделювання та конструювання з використанням систем автоматизованого проєктування та розрахунку будівельних конструкцій будівель та інженерних споруд об’єктів промислового, агропромислового, транспортного та цивільного призначення.

Засвоєння матеріалу дозволяє студенту здобути наступні **програмні результати навчання** [2]:

▸ **ПРН01** – Застосовувати основні теорії, методи та принципи математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук, сучасні моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень для розв’язання складних задач будівництва та цивільної інженерії.

▸ **ПРН04** – Проєктувати та реалізовувати технологічні процеси будівельного виробництва, використовуючи відповідне обладнання, матеріали, інструменти та методи.

▸ **ПРН08** – Раціонально застосовувати сучасні будівельні матеріали, вироби та конструкції на основі знань щодо їхніх технічних характеристик та технологію виготовлення.

▸ **ПРН09** – Проєктувати будівельні конструкції, будівлі, споруди, інженерні мережі та технологічні процеси будівельного виробництва, з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації, часових та інших обмежень, у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

▸ **ПРН14** – Забезпечувати безпечну та надійну експлуатацію будівельних конструкцій будівель, споруд та інженерних мереж та за необхідності здійснювати їхнє посилення (повну або часткову заміну) із використанням економічно-обґрунтованих та доцільних методів реконструкції.

▸ **ПРН16** – Виконувати обґрунтування щодо економічної доцільності варіантного проєктування, зведення, реконструкції та експлуатації будівель і споруд, використовувати методи інвестиційної оцінки об'єктів будівництва.

Методичні вказівки містять ***п'ять*** лабораторних робіт, в яких у стислій формі викладені усі основні вказівки та положення щодо набуття студентами наведених компетентностей та програмних результатів.

Успішне виконання будь-якої лабораторної роботи можливе за дотримання вимог відповідних діючих та актуальних нормативних документів [3–5, 7, 8, 10] із використанням довідкової літератури [6–18].

Методичні вказівки є продовженням циклу навчально-методичних робіт кафедри будівництва [11, 14–16], можуть бути використані студентами усіх будівельних спеціальностей під час виконання кваліфікаційних робіт і курсових проєктів.

1. ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1. Основні вимоги до дерев'яних конструкцій

Дерев'яні конструкції всіх типів повинні задовольняти **вимогам**:

→ механічної міцності, стійкості, довговічності та експлуатаційної придатності, а також додатковим вимогам, визначеним у завданні на проєктування [4];

→ пожежної безпеки та іншими нормативними документами [18, 19].

Проектування дерев'яних конструкцій встановленої надійності та строку експлуатації повинно здійснюватися у відповідності з [4, 5].

1.2. Основні положення розрахунку за граничними станами

Розрахункові схеми конструкцій повинні враховувати наступне:

→ умовність розрахункових схем;

→ статистично випадкові фізико-механічні характеристики матеріалів (міцнісні, жорсткісні);

→ характер роботи матеріалів залежно від плину часу;

→ кліматичні умови місцевості будівництва об'єкта, що проєктується;

→ статистично випадкові навантаження і впливи згідно з [3];

→ різні розрахункові випадки (монтажні навантаження, стадії будівництва, зміна умов опирання тощо).

1.3. Граничні стани за міцністю і стійкістю конструкцій (перша група граничних станів)

Дерев'яні конструкції повинні задовольняти вимогам розрахунку за несучою здатністю у відповідності з заданими розрахунковими схемами.

Розрахунок повинен виконуватися на імовірні комбінації граничних розрахункових навантажень.

Розрахунок конструкцій повинен виконуватись із застосуванням наступних значень характеристик жорсткості:

- у лінійно-пружному розрахунку, за якого внутрішні зусилля не залежать від розподілу жорсткостей всередині елемента (тобто елементи мають однакові сталі в часі характеристики), повинні застосовуватись середні величини;

- у лінійно-пружному розрахунку конструкцій першого порядку, за якого внутрішні зусилля залежать від розподілу жорсткостей всередині елемента (для композитів, які складаються з матеріалів, що мають різні, змінювані з часом, характеристики), повинні застосовуватись величини, приведені до навантаження, яке викликає найбільші напруження відносно міцності;

- щодо лінійно-пружного розрахунку другого порядку повинні застосовуватись розрахункові величини, що не залежать від тривалості дії навантаження.

1.4. Граничний стан за експлуатаційною придатністю (друга група граничних станів)

Деформації дерев'яних конструкцій, спричинені впливом навантажень і інших факторів, повинні відповідати нормативним обмеженням для запобігання можливості ушкодження стель, перекриттів, перегородок, технологічного обладнання, виникнення негативних фізіологічних і естетичних впливів на людину, погіршення зовнішнього вигляду конструкцій.

Розрахунок виконується на ймовірні комбінації експлуатаційних розрахункових значень навантажень.

При визначенні деформації дерев'яного елемента або елемента, виготовленого з матеріалів на основі деревини, під дією навантаження повинні враховуватися такі його складові (рис. 1.1).

Загальна деформація нетто поперечного перерізу дерев'яного елемента може бути записана у вигляді наступних залежностей:

$$u_{net,fin} = u_{fin} - u_c \quad (1.1)$$

або

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c, \quad (1.2)$$

де u_c – попередня деформація (будівельний підйом), якщо є;

u_{inst} – миттєва деформація (деформація, яка виникає безпосередньо від розрахункового навантаження);

u_{creep} – деформація від повзучості матеріалу (деформація, яка виникає з плином часу під дією комбінації навантажень, що призводять до прояву ефекту повзучості);

u_{fin} – загальна деформація (комбінація миттєвої деформації і деформації від повзучості матеріалу);

$u_{net,fin}$ – загальна деформація нетто (деформація без урахування попереднього вигину).

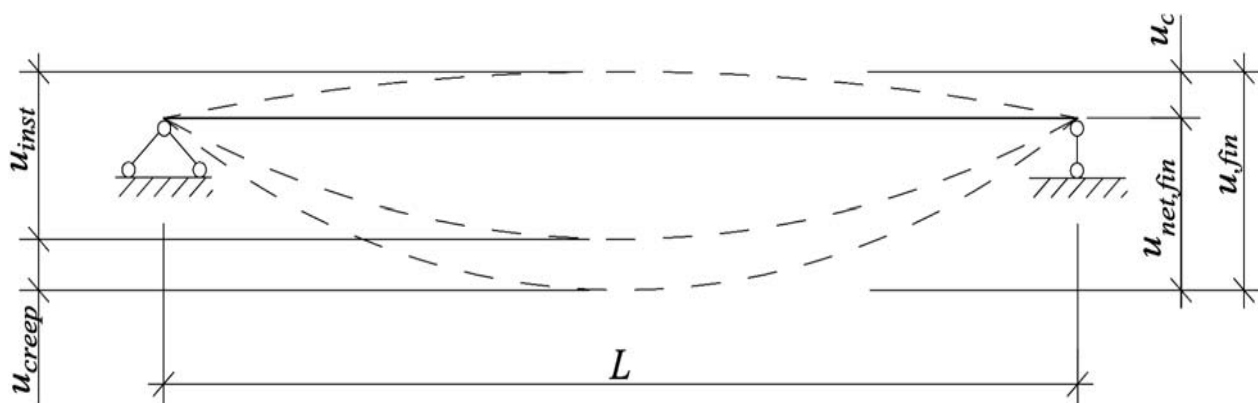


Рисунок 1.1 – Складові деформації балки

Для граничного стану за експлуатаційною придатністю відносно коливань повинні застосовуватись відповідні середні значення модулів пружності та зсуву (E_{mean} та G_{mean}).

1.5. Вплив навантаження та навколишнього середовища

Навантаження і впливи, які слід враховувати при проектуванні конструкцій з цільної та клеєної деревини, а також матеріалів на їхній основі, приймаються відповідно до ДБН В.1.2.–2:2006 [3].

Тривалість дії навантаження, вологість і температура суттєво впливають на характеристики міцності і жорсткості деревини та інших матеріалів на основі деревини, і повинні враховуватись при проектуванні в розрахунках за граничними станами несучої здатності і експлуатаційної придатності.

1.6. Класи навантажень за тривалістю дії

Класи навантажень за тривалістю дії характеризуються впливом навантажень, що діють протягом певного періоду часу.

Усі навантаження мають відноситись до одного з класів за тривалістю дії, наведених у табл. 1.1, 1.2, для розрахунків за граничними станами.

Таблиця 1.1

Класи навантажень за тривалістю дії

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 1.2

Приклади призначення класу навантаження за тривалістю дії

Клас навантаження за тривалістю дії	Приклади навантаження
1	2

1	2
постійне	Власна вага конструкцій; вага різного роду засипок; вага постійних перегородок, стаціонарного обладнання, комунікацій; конструкції підвісних стель; тиск ґрунту.
довготривале	Навантаження при зберіганні вантажів; навантаження від води в баках.
середньої тривалості	Снігове; рівномірно розподілені корисні навантаження на перекриття та балкони; тимчасові навантаження в гаражах-стоянках та в зонах транспортного руху; впливи, пов'язані зі зміною вологості; вага нестаціонарного обладнання; вага тимчасових перегородок.
короткочасне	Тимчасові навантаження на сходи; тимчасові зосереджені навантаження; горизонтальні навантаження на перегородки та парапети; тимчасові навантаження з обслуговування покрівель і перебування людей; транспортні навантаження; впливи від транспортних засобів та механізмів; складування вантажів; вітрове навантаження.
миттєве	Випадкові впливи.

1.7. Експлуатаційні класи

Конструкціям повинен призначатись один із наведених нижче експлуатаційних класів.

Експлуатаційний клас 1 характеризується вологістю матеріалів, що відповідає температурі 20 °С і відносній вологості навколишнього повітря, що перевищує 65 % тільки декілька тижнів протягом року.

Для експлуатаційного класу 1 середня вологість деревини хвойних порід не повинна перевищувати 12 %.

Експлуатаційний клас 2 характеризується вологістю матеріалів, що відповідає температурі 20 °С і відносній вологості навколишнього повітря, що перевищує 85 % тільки декілька тижнів протягом року.

Для експлуатаційного класу 2 середня вологість деревини хвойних порід не повинна перевищувати 20 %.

Експлуатаційний клас 3 характеризується кліматичними умовами, що призводять до більш високої вологості ніж для експлуатаційного класу 2.

Вплив умов експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії на міцність та деформативність матеріалів.

Вплив умов експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії на міцність враховується відповідними коефіцієнтами, що наведено у таблиці А.1 додатка А.

Якщо в з'єднанні два дерев'яних елементи мають різну залежність характеру роботи з часом, то їх розрахункову несучу здатність необхідно визначати за допомогою коефіцієнта k_{mod} :

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} \cdot k_{\text{mod},2}}, \quad (1.3)$$

де $k_{\text{mod},1}$ та $k_{\text{mod},2}$ – коефіцієнти для двох дерев'яних елементів (k_{mod} – поправочний коефіцієнт, що приймається з таблиці А.1).

Вплив умов експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії на деформативність визначається, якщо конструкція складається з елементів або частин, що мають різні характеристики в залежності від часу.

Повні середні значення модуля пружності $E_{\text{mean},\text{fin}}$, модуля зсуву $G_{\text{mean},\text{fin}}$ і модуля ковзання $K_{\text{ser},\text{fin}}$, які використовуються для обчислення повних деформацій, необхідно визначати за наступними виразами:

$$E_{\text{mean},\text{fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (1.4)$$

$$G_{\text{mean},\text{fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (1.5)$$

$$K_{\text{ser},\text{fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (1.6)$$

Для граничних станів експлуатаційної придатності, якщо розподіл жорсткостей у конструкції впливає на розподіл різних зусиль, повні середні значення модуля пружності $E_{\text{mean},\text{fin}}$, модуля зсуву $G_{\text{mean},\text{fin}}$ і модуля ковзання $K_{\text{ser},\text{fin}}$ повинні обчислюватись за наступними виразами:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad (1.7)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad (1.8)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad (1.9)$$

де E_{mean} – середнє значення модуля пружності;

G_{mean} – середнє значення модуля зсуву;

K_{ser} – миттєвий модуль ковзання;

k_{def} – коефіцієнт для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу;

ψ_2 – коефіцієнт квазіпостійної величини навантаження, що викликає найбільші напруження відносно міцності (якщо така дія буде постійною, то ψ_2 слід приймати за 1); значення ψ_2 для більш загальних дій наведено у таблиці А.1.1 ДСТУ-Н Б EN 1990:2008.

Якщо в з'єднанні є два дерев'яних елементи з однаковим характером роботи в часі, значення k_{def} необхідно подвоїти.

Якщо в з'єднанні є два дерев'яних елементи, що мають різну залежність характеру роботи в часі, обчислення повних деформацій повинно виконуватись з урахуванням наступного коефіцієнта для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу

$$k_{def} = 2\sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}, \quad (1.10)$$

де $k_{def,1}$ та $k_{def,2}$ – коефіцієнти для оцінки деформацій повзучості з урахуванням відповідного експлуатаційного класу кожного з двох дерев'яних елементів.

1.8. Розрахункові характеристики міцності матеріалів

Розрахункові значення міцності деревини для кожного виду роботи у відповідності до категорій елементів конструкцій визначаються за формулою:

$$f_{i,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{i,k}}{\gamma_M}, \quad (1.11)$$

де $f_{i,k}$ – характеристичне значення міцності деревини i -того виду роботи, що приймається за дод. 4 в залежності від матеріалу та класу міцності;

k_{mod} – коефіцієнт перетворення для експлуатаційних класів та класів навантаження за тривалістю дії (приймається за дод. 2);

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом (приймається за табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Коефіцієнти надійності за матеріалом γ_M

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

Розрахункові величини жорсткості та зсуву елемента E_d або G_d слід визначати,

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}, \quad (1.12)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}, \quad (1.13)$$

де E_{mean} – середнє значення модуля пружності;

G_{mean} – середнє значення модуля зсуву.

1.9. Розрахункові значення несучої здатності

Розрахункове значення несучої здатності R_d потрібно визначати, як:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}, \quad (1.14)$$

де R_k – характеристичне значення несучої здатності;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом;

k_{mod} – коефіцієнт, яким враховується експлуатаційний клас та клас навантаження за тривалістю дії. Рекомендовані коефіцієнти надійності за матеріалом γ_M наведено у табл. 1.3.

Для цільної деревини при визначенні розрахункових характеристик міцності необхідно враховувати вплив розмірів елемента.

Для прямокутних перерізів елементів із цільної деревини, що мають характеристичну густину $\rho_k < 700 \text{ кг/м}^3$ з базовою висотою перерізу при роботі на згин або шириною (максимальний розмір поперечного перерізу) при розтязі менше 150 мм, характеристичні значення $f_{m,k}$, $f_{t,0,k}$ можуть бути збільшені на коефіцієнт k_h :

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\}, \quad (1.15)$$

де h – висота перерізу елемента при згині або ширина перерізу при розтягу, мм.

Для елементів з клеєної деревини необхідно враховувати вплив на міцність деревини розмірів поперечного перерізу елемента.

Для елементів з клеєної деревини прямокутного перерізу за базову висоту при роботі на згин або ширину при роботі на розтяг приймають 600 мм.

Якщо висота при згині або ширина (максимальний розмір поперечного перерізу) при розтязі елементів із клеєної деревини є меншою ніж 600 мм, характеристичні значення $f_{m,k}$, $f_{t,0,k}$ можуть бути збільшені на коефіцієнт k_h :

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\}, \quad (1.16)$$

де h – висота перерізу елемента при згині або ширина перерізу при розтязі.

Для LVL матеріалів із клеєного шпону прямокутного перерізу з орієнтацією усіх волокон шпону в одному напрямі повинен враховуватись вплив розміру елемента на міцність при згині і розтязі.

Базова висота поперечного перерізу при згині становить 300 мм.

Якщо для елементів із висотою поперечного перерізу базова висота при згині не дорівнює 300 мм, характеристичне значення $f_{m,k}$ слід збільшувати на коефіцієнт k_h :

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s, 1.2 \right\}, \quad (1.17)$$

де h – висота перерізу елемента, мм,

s – ступінь впливу розміру, який приймається згідно EN 14279:2009, але не менше 0,12.

Базова довжина елемента при розтягу становить 3000 мм.

Для елементів, довжина яких не дорівнює 3000 мм при розтязі, характеристичне значення $f_{t,0,k}$ слід збільшувати на коефіцієнт k_l :

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{3000}{l} \right)^{s/2}, 1.1 \right\}, \quad (1.18)$$

де l – довжина елемента, мм,

s – ступінь впливу розміру, який приймається згідно EN 14279:2009, але не менше 0,12.

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Лабораторна робота №1

Тема: визначення міцності центрально розтягнутих елементів дерев'яних конструкцій.

Мета роботи: навчитися визначати міцність центрально розтягнутих дерев'яних елементів на дію розрахункового зусилля від постійного та тимчасового навантаження.

Хід виконання роботи

При розрахунку на міцність центрально розтягнутого елемента, згідно п. 9.2 [4], має виконуватись умова:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1, \quad (2.1)$$

де $\sigma_{t,0,d}$ – розрахункове напруження при розтягу вздовж волокон, що визначається за формулою (2.2) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{t,0,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при розтягу вздовж волокон, що визначається за формулою (2.3) для кожного класу навантаження за тривалістю дії.

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}}, \quad (2.2)$$

де $N_{t,0,d}$ – розрахункове зусилля розтягу вздовж волокон;

A_{net} – розрахункова площа перерізу елемента нетто (рис. 2.1).

При визначенні A_{net} всі ослаблення, які розташовані на довільній ділянці довжиною 15 см, слід приймати суміщеними в одному перерізі.

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}, \quad (2.3)$$

де k_{mod} – коефіцієнт перетворення, залежить від експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії, приймається за дод. 2;

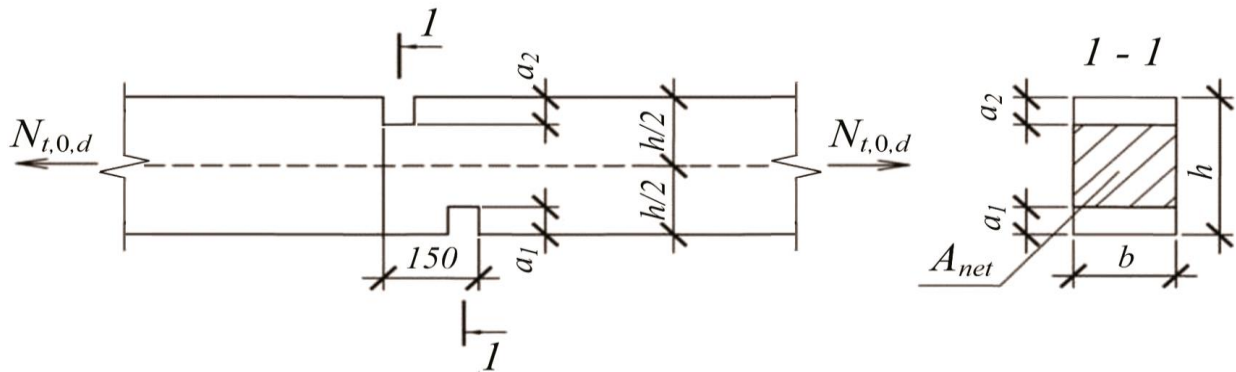


Рисунок 2.1 – Визначення розрахункової площі перерізу нетто A_{net}

$f_{t,0,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при розтягу вздовж волокон, приймається за дод. 3;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається за табл. 1.3.

Приклад розрахунку центрально розтягнутого елемента (до лабораторної роботи №1)

Вихідні дані до розрахунку:

Необхідно перевірити міцність центрально розтягнутого дерев'яного елемента на дію розрахункового зусилля від постійного $N_{t,0,d} = 155 \text{ кН}$ та тимчасового навантаження $N_{t,0,d} = 135 \text{ кН}$. Елемент суцільного перерізу з розмірами $b \times h = 200 \times 260 \text{ мм}$ має ослаблення з двох боків врізками глибиною 30 мм (рис. 2.2). Деревина – класу міцності С27. Експлуатаційний клас – 1.

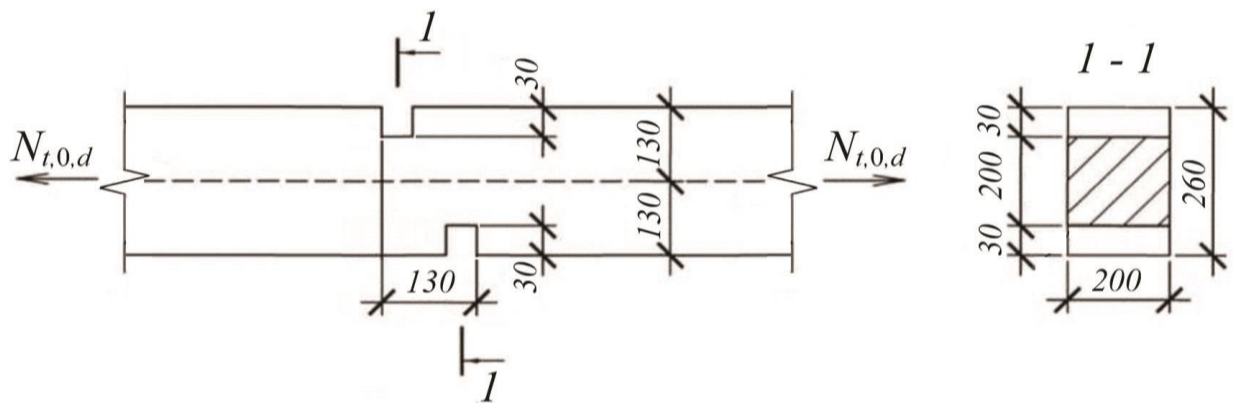


Рисунок 2.2 – Центрально розтягнутий дерев'яний елемент

Розв'язок:

Перевірку міцності центрально розтягнутого елемента слід виконувати за формулою (2.1).

За формулою (2.2) визначимо розрахункові напруження при розтягу вздовж волокон:

– від постійного навантаження:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}} = \frac{155 \text{ кН}}{400 \text{ см}^2} = 0,388 \text{ кН / см}^2 = 3,88 \text{ МПа},$$

– від тимчасового навантаження:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}} = \frac{135 \text{ кН}}{400 \text{ см}^2} = 0,338 \text{ кН / см}^2 = 3,38 \text{ МПа},$$

де

$$A_{mt} = 26 \text{ см} \cdot 20 \text{ см} - 2 \cdot 3 \text{ см} \cdot 20 \text{ см} = 400 \text{ см}^2 - \text{площа перерізу нетто.}$$

За формулою (2.3) визначимо розрахункові значення міцності розтягу вздовж волокон:

– для постійного навантаження:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \frac{16 \text{ МПа}}{1,3} = 8,5 \text{ МПа},$$

– для тимчасового навантаження (середньої тривалості):

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{16 \text{ МПа}}{1,3} = 9,85 \text{ МПа},$$

де $k_{mod} = 0,6$ та $k_{mod} = 0,8$ – коефіцієнт перетворення для 1-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості відповідно, що приймаються за дод. 2;

$f_{t,0,k} = 16 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С27 при розтягу вздовж волокон у відповідності з дод. 3;

$\gamma_M = 1,3$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для цільної деревини, приймається за табл. 1.3.

Перевіряємо міцність центрально розтягнутого елемента за формулою

(2.1):

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{3,88 \text{ МПа}}{8,5 \text{ МПа}} + \frac{3,38 \text{ МПа}}{9,85 \text{ МПа}} = 0,80 < 1.$$

Умова виконується. Міцність елементу забезпечена.

Таблиця 2.1

Вихідні дані до виконання лабораторної роботи №1

№ п/п	Найменування вихідних даних	Номер варіанту									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Постійне навантаження, κH	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
2.	Тимчасове навантаження, κH	105		115		125		135		145	
3.	Розміри елементу суцільного перерізу $мм$	200×260		220×280		240×300		260×320		280×340	
4.	Розміри ослаблень $a_1/a_2, мм$	20/30		25/35		15/25		30/40		30/20	
5.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6–161:2017, додаток Б [4]										
	хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50	
	листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		D34	
6.	Експлуатаційний клас деревини – <i>I</i>										
7.	Тип поперечного перерізу – <i>прямокутний</i>										

2.2. Лабораторна робота №2

Тема: визначення міцності центрально стиснутих елементів дерев'яних конструкцій.

Мета роботи: навчитися визначати міцність центрально стиснутих дерев'яних елементів на дію розрахункового зусилля від постійного та

тимчасового навантаження.

Хід виконання роботи

1. Розрахунок міцності центрально стиснутого стержня слід виконувати відповідно до п. 9.3 [4], за яким має виконуватись умова:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (2.4)$$

де $\sigma_{c,0,d}$ – розрахункове напруження при стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.5) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{c,0,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.6) для кожного класу навантаження за тривалістю дії.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}}, \quad (2.5)$$

де $N_{c,0,d}$ – розрахункове зусилля стиску вздовж волокон; A_{net} – розрахункова площа перерізу елементу нетто.

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}, \quad (2.6)$$

де k_{mod} – коефіцієнт перетворення, залежить від експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії, приймається за дод. 2;

$f_{c,0,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при стиску вздовж волокон, приймається за дод. 3;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається за табл. 1.3.

2. Розрахунок стійкості центрально стиснутих елементів слід виконувати відповідно до п. 9.3 [4]. Мають задовольнятись умови:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad \text{та} \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (2.7)$$

де $\sigma_{c,o,d}$ – розрахункове напруження при стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.11) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{c,o,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.6) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$ – коефіцієнти повздовжнього згину відносно відповідних осей, визначаються за формулами (2.8).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \text{ та } k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \quad (2.8)$$

в яких коефіцієнти k_y , k_z визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} k_y &= 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2], \\ k_z &= 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2], \end{aligned} \quad (2.9)$$

де $\lambda_{rel,y}$, $\lambda_{rel,z}$ – приведена гнучкість відносно відповідних осей, визначається за формулами:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \text{ та } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \quad (2.10)$$

де $f_{c,0,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при стиску вздовж волокон у відповідності за дод. 3;

λ_y – гнучкість стійки відносно осі $y - y$ (за напрямком меншої сторони);

$E_{0.05}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 3;

$\beta = 0,2$ – коефіцієнт для елементів із цільної деревини,

$\beta = 0,1$ – коефіцієнт для елементів із клеєної деревини згідно п. 9.3 [4].

3. Гнучкість стійки визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i},$$

де l_{ef} – розрахункова довжина елемента, що приймається за рис. 2.3 і залежить

від умов закріплення елементу та схеми прикладання навантаження;

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} - \text{радіус інерції перерізу відносно відповідної осі.}$$

4. Розрахункова довжина стиснутого елементу визначається як довжина гіпотетичного елементу з шарнірним закріпленням двох кінців, що має таку саму критичну силу втрати стійкості, як і та що розглядається. Розрахункова довжина може бути визначена графічно, як відстань між двома точками на кривій втрати стійкості, що з'єднуються прямою лінією.

На рис. 2.3 представлені варіанти втрати стійкості елементів за Ейлером та наведені розрахункові довжини для чотирьох типів ідеалізованих опор. На практиці використовується коефіцієнт приведення довжини μ , який визначається як співвідношення розрахункової до фактичної довжин елементу.

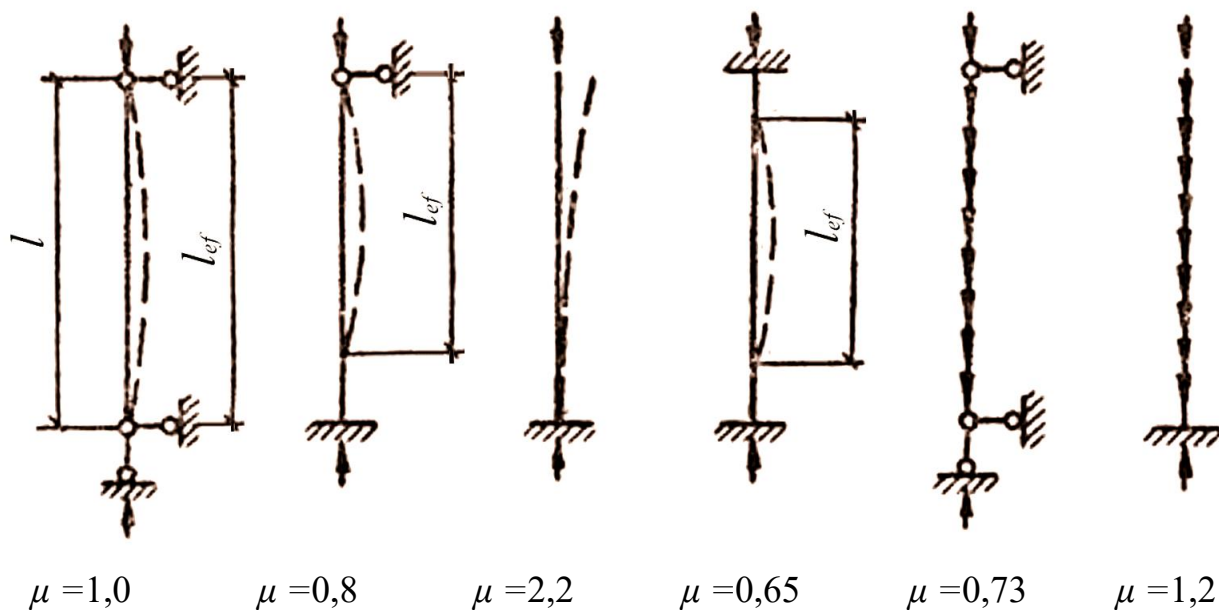


Рисунок 2.3 – Розрахункові довжини для елементів

5. Враховуючи те, що абсолютно жорстких з'єднань в дерев'яних конструкціях досягти неможливо, такі вузли розглядаються як пружнопіддатливі, а це в свою чергу впливає на визначення коефіцієнту приведення довжини.

Прийняті у [4] співвідношення розрахункової до фактичної довжин елементу для центрально стиснутих елементів, з урахуванням пружно

піддатливості вузлів наведені на рис. 2.3.

Розрахункове значення нормальних напружень в місці перевірки стійкості:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{sup}}, \quad (2.11)$$

де $N_{c,0,d}$ – розрахункове повздовжнє зусилля;

A_{sup} – розрахункова площа перерізу в місці перевірки стійкості.

Приклад розрахунку центрально-стиснутого елементу (до лабораторної роботи №2)

Вихідні дані:

Необхідно перевірити міцність центрально стиснутої дерев'яної стійки, перерізом $b \times h = 250 \times 300$ мм, довжиною $l = 5,5$ м з шарнірним закріпленням на опорах (рис. 2.4). Розрахункове стискаюче зусилля від постійного $N_{c,0,d} = 150$ кН та снігового навантаження $N_{c,o,d} = 100$ кН. Деревина – класу міцності С27.

Експлуатаційний клас – 2.

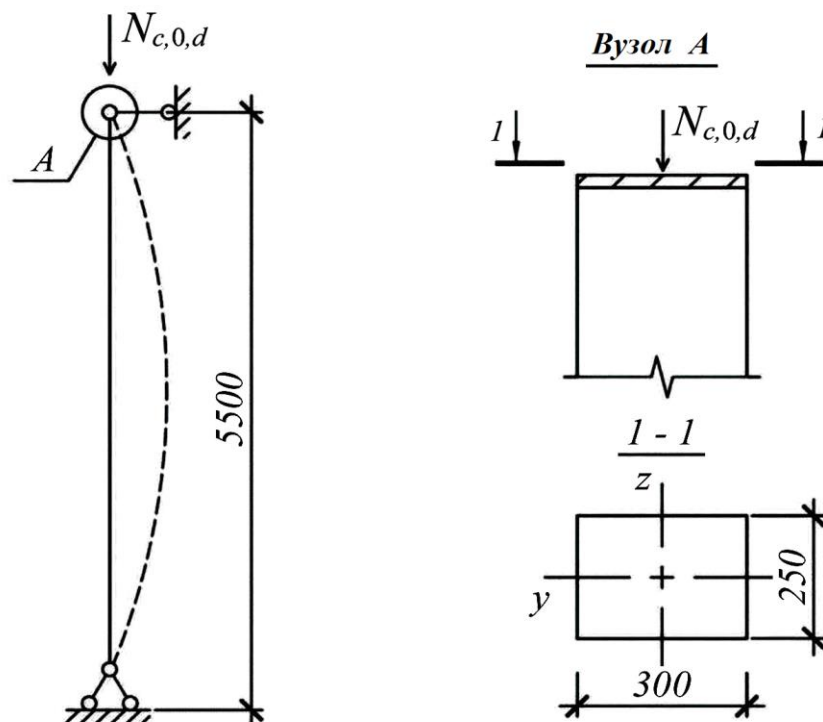


Рисунок 2.4 – Центрально стиснута стійка:

a – розрахункова схема стійки; b – ділянка стійки зі скошеним оголовком

Розв’язок:

Розрахунок центрально-стиснутого елемента за граничними станами

1. Розрахунок на міцність

При розрахунку на міцність центрально стиснутого стержня має виконуватись умова (2.4).

Розрахункове напруження стиску вздовж волокон визначається за формулою (2.5):

→ від постійного навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}} = \frac{150 \text{ кН}}{750 \text{ см}^2} = 0,2 \text{ кН / см}^2 = 2,0 \text{ МПа},$$

→ від снігового навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{net}} = \frac{100 \text{ кН}}{750 \text{ см}^2} = 0,13 \text{ кН / см}^2 = 1,3 \text{ МПа},$$

де $A_{net} = 30 \text{ см} \cdot 25 \text{ см} = 750 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу нетто перпендикулярно до напрямку волокон (переріз 1-1 на рис. 2.4).

Розрахункове значення міцності деревини при стиску вздовж волокон визначається за формулою (2.6):

→ для постійного навантаження:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \frac{22 \text{ МПа}}{1,3} = 10,15 \text{ МПа},$$

→ для снігового навантаження:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \frac{22 \text{ МПа}}{1,3} = 13,54 \text{ МПа},$$

в якій $k_{mod} = 0,6$ та $k_{mod} = 0,8$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, що приймаються за дод. 2;

$f_{c,0,k} = 22 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С27 при стиску вздовж волокон у відповідності з дод. 3;

$\gamma_M = 1,3$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для цільної деревини, приймається за табл. 1.3.

$$\frac{2,0 \text{ МПа}}{10,15 \text{ МПа}} + \frac{1,3 \text{ МПа}}{13,52 \text{ МПа}} = 0,20 + 0,10 = 0,30 < 1.$$

Перевірка виконується. Міцність елементу забезпечена.

2. Розрахунок на стійкість

При розрахунку на стійкість центрально стиснутих елементів має виконуватись умова (2.7).

Гнучкість стійки відносно осі у-у буде дорівнювати:

$$\lambda_y = \frac{l_{y,d}}{i_y} = \frac{550 \text{ см}}{7,23 \text{ см}} = 76,12,$$

де $l_{y,d} = \mu_y \cdot l = 1 \cdot 550 = 550 \text{ см}$ – розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців; $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 25,0 \text{ см} = 7,23 \text{ см}$ – радіус інерції перерізу відносно осі у - у.

Гнучкість стійки відносно осі z-z буде дорівнювати:

$$\lambda_z = \frac{l_{z,d}}{i_{yz}} = \frac{550 \text{ см}}{8,67 \text{ см}} = 63,44,$$

де $l_{z,d} = \mu_z \cdot l = 1 \cdot 550 = 550 \text{ см}$ – розрахункова довжина елемента при шарнірному защемленні кінців;

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 30,0 \text{ см} = 8,67 \text{ см} \quad \text{– радіус інерції перерізу}$$

відносно осі z - z.

Подальші розрахунки можна вести **тільки відносно осі з більшим значенням гнучкості**.

Відносна гнучкість стійки відносно осі у - у за формулою (2.10):

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,12}{3,14} \sqrt{\frac{22 \text{ МПа}}{7400 \text{ МПа}}} = 1,32,$$

де $f_{c,o,k} = 22 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини при стиску вздовж волокон у відповідності **за дод. 3**;

$E_{0,05} = 7'400 \text{ МПа}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 3.

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,32 - 0,3) + 1,32^2] = 1,47,$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{1,47 + \sqrt{1,47^2 - 1,32^2}} = 0,472.$$

Розрахункове значення нормальних напружень в місці перевірки стійкості:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_{sup}} = \frac{150 \text{ кН} + 100 \text{ кН}}{25 \text{ см} \cdot 30 \text{ см}} = 0,3 \text{ кН / см}^2 = 3,0 \text{ МПа}.$$

$$\frac{2,0 \text{ МПа}}{0,472 \cdot 10,15 \text{ МПа}} + \frac{1,3 \text{ МПа}}{0,472 \cdot 13,52 \text{ МПа}} = 0,42 + 0,20 = 0,62 < 1.$$

Умова виконується. Стійкість елементу забезпечена.

Таблица 2.2

Вихідні дані до виконання лабораторної роботи №2

№ п/п	Найменування вихідних даних	Номер варіанту									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Постійне навантаження, κH	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
2.	Тимчасове навантаження, κH	105		115		125		135		145	
3.	Розміри елементу суцільного перерізу, mm	200×260		220×280		240×300		260×320		280×340	
4.	Довжина балки, m	4,8		5,2		5,5		6		6,3	
5.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6–161:2017, додаток Б [4]										
	хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50	
	листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		D34	
6.	Експлуатаційний клас деревини – 2										

2.3. Лабораторна робота №3

Тема: визначення міцності елементів дерев'яних конструкцій, які працюють на згин.

Мета роботи: навчитися визначати міцність дерев'яних елементів, які працюють на дію згинального моменту від постійного та тимчасового навантаження.

Хід виконання роботи

Розрахунок міцності елементу що працює на згин по нормальним напруженням (рис. 2.5) слід виконувати відповідно до п. 9.4 [4], за умовою:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.12)$$

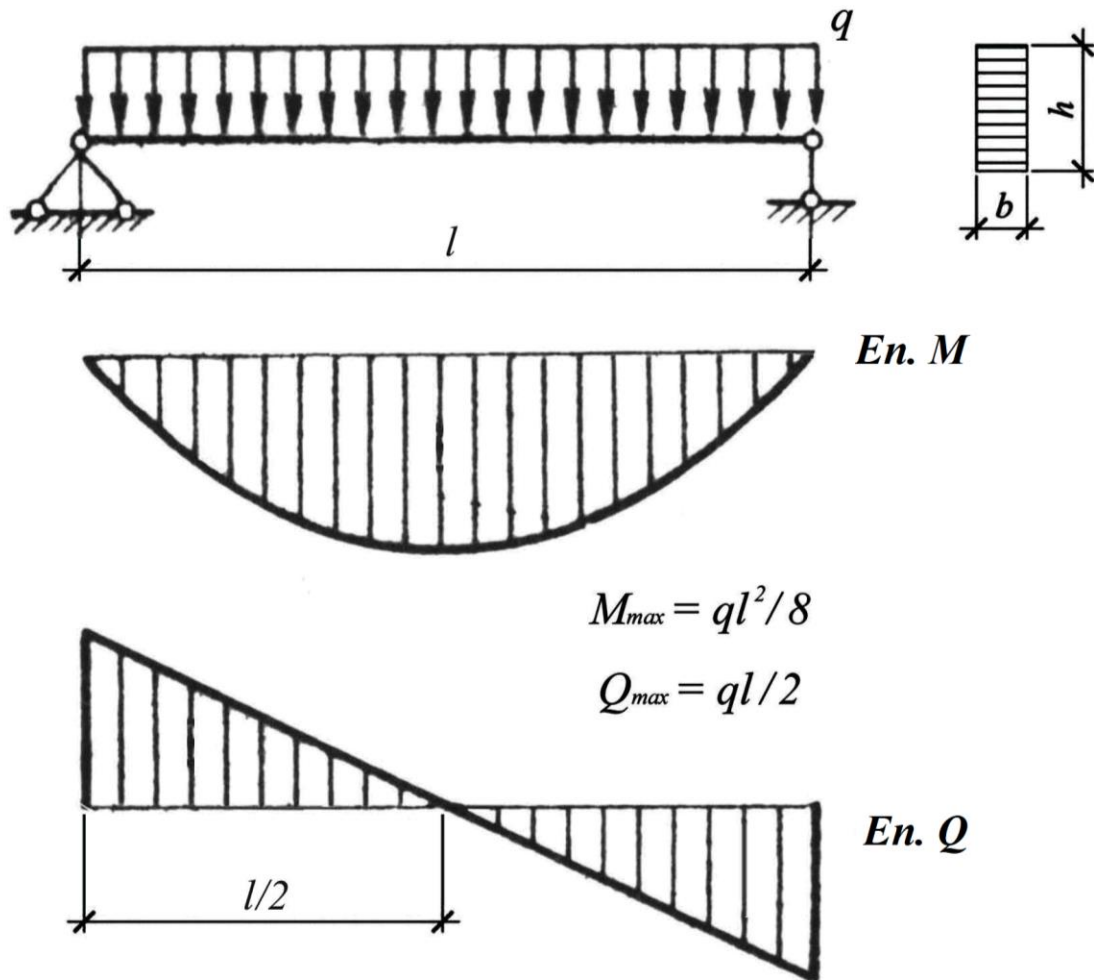


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема балки та епюри внутрішніх зусиль

де: $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ – розрахункові напруження при згині відносно відповідних осей, що визначаються за формулою (2.14) для кожного класу навантаження за тривалістю дії; $f_{m,y,d}$,

$f_{m,z,d}$ – розрахункові опори деревини при згині відносно відповідних осей, що визначаються за формулою (2.15) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

k_m – коефіцієнт, що враховує перерозподіл напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі елемента.

Коефіцієнт k_m приймається для суцільної деревини, клеєної деревини та LVL: $k_m = 0,7$ – для прямокутного перерізу; $k_m = 1,0$ – для інших видів поперечного перерізу. Для інших будівельних виробів на основі деревини для всіх видів поперечного перерізу: $k_m = 1,0$.

Враховуючи наявність згину тільки відносно однієї площини, а відповідно відсутність другої складової формула (2.12) набуває вигляду:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1, \quad (2.13)$$

в якій $\sigma_{m,d}$ – розрахункове напруження при згині, що визначається за формулою (2.13) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{m,d}$ – розрахунковий значення міцності деревини при згині, що визначається за формулою (2.15) для кожного класу навантаження за тривалістю дії.

Розрахункове напруження при згині:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_d}, \quad (2.14)$$

де M_d – розрахунковий згинальний момент;

W_d – момент опору в розрахунковому перерізі.

Розрахункове значення міцності деревини при згині:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} k_h, \quad (2.15)$$

в якій k_{mod} – коефіцієнт перетворення для певного експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії приймається за дод. 2;

$f_{m,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при згині за дод. 4;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається за табл. 1.3;

k_h – коефіцієнт який застосовується при розрахунку клеєної деревини прямокутного перерізу на згин та розтяг при висоті поперечного перерізу менше 600 мм і визначається за формулами (1.15) – для цільної деревини, (1.16) – для клеєної деревини.

Перевірка перерізу балки на стійкість плоскої форми деформування виконується за п. 9.4 [4]:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{\text{krit}} \cdot f_{m,d}} \leq 1, \quad (2.16)$$

де k_{krit} – коефіцієнт, що враховує зменшення міцності при втраті стійкості плоскої форми згину та визначається в залежності від відносної гнучкості при згині $\lambda_{rel,m}$:

$$\begin{aligned} k_{krit} &= 1 && \text{при } \lambda_{rel,m} \leq 0,75; \\ k_{krit} &= 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} && \text{при } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 0,75; \\ k_{krit} &= 1 / \lambda_{rel,m}^2 && \text{при } 1,4 < \lambda_{rel,m}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Відносна гнучкість при згині визначається за формулою:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (2.18)$$

де $\sigma_{m,crit}$ – критичне напруження при згині визначається за формулами:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0.05} \cdot I_z \cdot G_{0.05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y}, \quad (2.19)$$

або

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0.05}, \quad (2.20)$$

де l_{ef} – розрахункова довжина балки у відповідності з дод. 3;

$E_{0.05}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 3;

h та b – відповідно висота і ширина поперечного перерізу.

Перевірку перерізу балки на зсув (сколювання вздовж волокон) слід виконувати за формулою:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1, \quad (2.21)$$

де τ_d – розрахункове напруження зсуву, що визначається за формулою (2.22) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{v,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при зсуві для фактичних умов, що визначається за формулою (2.24) для кожного класу навантаження за тривалістю дії.

$$\tau_d = \frac{Q_d \cdot S_{br}}{I_{br} \cdot b_{ef}}, \quad (2.22)$$

де: S_{br} – статичний момент (брутто) частини що зсувається відносно нейтральної осі;

I_{br} – момент інерції перерізу (брутто) відносно нейтральної осі;

$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$; де k_{cr} – коефіцієнт, що враховує вплив тріщин і приймається:

$k_{cr} = 0,67$ – для суцільної деревини та багатошарової клеєної деревини;

$k_{cr} = 1,0$ – для інших матеріалів на основі деревини.

Оскільки для прямокутного перерізу $\frac{S_{br}}{I_{br}} = \frac{1,5}{h}$, отримаємо:

$$\tau_d = \frac{Q_d \cdot 1,5}{h \cdot b_{ef}}, \quad (2.23)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (2.24)$$

де k_{mod} – коефіцієнт перетворення, що залежить від експлуатаційного класу та класу навантаження за тривалістю дії у відповідності з дод. 2;

$f_{v,k}$ – характеристичне значення міцності деревини при зсуві у відповідності з дод. 3;

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається за табл. 1.3.

Для визначення прогину за граничними станами експлуатаційної придатності слід застосовувати розрахункові експлуатаційні навантаження.

Миттєвий прогин u_{jnst} для елемента суцільного перерізу, що працює окремо від інших конструкцій, повинен розраховуватися з використанням середньої величини модуля пружності вздовж волокон E_{mean} та/або середнього значення модуля зсуву G_{mean} .

Для дерев'яних елементів $G_{mean} = E_{mean}/16$, а для елементів, виготовлених з матеріалів на основі деревини, ці значення повинні визначатися за даними на ці матеріали.

Загальний прогин u_{fin} отримують шляхом підсумовування миттєвого

прогину і прогину від повзучості. При визначенні загального прогину слід керуватися положеннями [4].

Якщо елемент згинається під дією поперечної сили, додатково до прогину від згинального моменту повинен бути визначений прогин від цієї сили.

Прогин від зсуву може бути виражений у величинах прогину від згину, помноженого на коефіцієнт, що враховує вплив зсуву. Значення коефіцієнта для вільно опертої балки прямокутного перерізу шириною b , висотою h і розрахунковим прольотом l для стандартних випадків завантаження наведено у табл. 2.3.

Загальний прогин від зсуву і згину в балці для прийнятого випадку завантаження визначається шляхом множення прогину від згину на відповідний підвищувальний коефіцієнт, що враховує вплив зсуву.

Для визначення прогину в середині прольоту шарнірно опертих односхилих і двосхилих балок від дії згинального моменту і поперечної сили, під дією зосередженої сили в середині прольоту або рівномірно розподіленого навантаження по довжині балки кожного з типів можуть бути рекомендовані вирази, які наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.3

Рекомендовані формули щодо визначення прогину шарнірно опертих балок прямокутного поперечного перерізу від згину та підвищуючі коефіцієнти, що враховують вплив зсуву

Випадок навантаження	Прогини від згину (u_{inst}), мм	Підвищуючий коефіцієнт повзучості (ψ)
Рівномірно розподілене навантаження по довжині шарнірно опертої балки, рівна повному навантаженню q_d	у середині прольоту $\frac{5q_d l^4}{32E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3}$	$\left[1 + 0,96 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$

Зосереджене навантаження P (кН) у середині прольоту шарнірно опертої балки	у середині прольоту $\frac{P}{4E_{0,mean} \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,2 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на кінці консольної балки	у крайній точці консолі $\frac{4P}{E_{0,mean} \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,3 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на $\frac{1}{4}$, і $\frac{3}{4}$ прольоту шарнірно опертої балки	у середині прольоту $\frac{11P}{32E_{0,mean} \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,873 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Зосереджене навантаження P (кН) на $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ прольоту шарнірно опертої балки	у середині прольоту $\frac{19P}{32E_{0,mean} \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,011 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$

Примітка: $E_{0,mean}$ – середній модуль пружності для матеріалу вздовж волокон, кН/мм²; $G_{0,mean}$ – середній модуль зсуву, кН/мм²; b – ширина елементу, мм; h – висота елементу, мм; l – розрахунковий проліт, мм

Таблиця 2.4

**Рекомендовані формули для визначення прогину шарнірно опертих
однопрольотних односхилих і двосхилих балок**

Вид навантаження	Прогини від згину (u_{inst}), мм	Прогини від повзучості (u_{creep}), мм
для односхилої балки		
Зосереджена сила F_d в середині прольоту l $M_d = 0,25F_d l$	$\frac{5M_d \cdot l^2 k_1}{96E_{0,g,mean} \cdot I_{h_s}}$ $k_1 = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(\ln a - 2 \left(\frac{a-1}{a+1} \right) \right)$	$\frac{1,2M_d k_{1g}}{G_{g,mean} \cdot A_{h_s}}$ $k_{1g} = \frac{1}{(a-1)} \ln a$

Рівномірно розподілене навантаження, g_d $M_d = (g_d l^2)/8$	$\frac{5M_d \cdot l^2 k_2}{48E_{0,g,mean} \cdot I_{h_s}}$ $k_2 = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^4 (3(a+1) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) -$ $-(2a+1) \ln a - \left(\frac{(a-1)^2}{2(a+1)} \right))$	$\frac{1,2M_d k_{2g}}{G_{g,mean} \cdot A_{h_s}}$ $k_{2g} = \frac{2(a+1)}{(a-1)^2} \ln \frac{(a+1)^2}{4a}$
для двосхилої балки		
Зосереджена сила F_d в середині прольоту l $M_d = 0,25F_d l$	$\frac{5M_d \cdot l^2 k_3}{96E_{0,g,mean} \cdot I_{h_s}}$ $k_3 = 38,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(\ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \right.$ $\left. + \frac{4}{a+1} - \frac{2}{(a+1)^2} - 1,5 \right)$	$\frac{1,2M_d k_{3g}}{G_{g,mean} \cdot A_{h_s}}$ $k_{3g} = \frac{2}{(a-1)} \ln \left(\frac{a+1}{2} \right)$
Рівномірно розподілене навантаження, g_d $M_d = (g_d l^2)/8$	$\frac{5M_d \cdot l^2 k_4}{48E_{0,g,mean} \cdot I_{h_s}}$ $k_4 = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(2 \left(\frac{a+2}{a-1} \right) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \right.$ $\left. + \frac{3}{a+1} - \frac{2}{(a+1)^2} - 4 \right)$	$\frac{1,2M_d k_{4g}}{G_{g,mean} \cdot A_{h_s}}$ $k_{4g} = \frac{4}{(a-1)} \times$ $\times \left(\left(\frac{a+1}{a-1} \right) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - 1 \right)$

У таблиці 2.4 прийняті наступні позначення:

$E_{0,g,mean}$ – середній модуль пружності клеєного елемента вздовж волокон;

$G_{0,g,mean}$ – середній модуль зсуву клеєного елемента;

I_{h_s} – момент інерції перерізу клеєної балки висотою h_s , тобто $I_{h_s} = bh_s^3/12$;

A_{h_s} – площа поперечного перерізу клеєної балки висотою h_s , т.ч. $A_s = bh_s$,

a – відношення h_i/E для односхилих балок i_{hap} і h_s для двосхилих балок.

Приклад розрахунку дерев'яної балки, яка працює на згин (до лабораторної роботи №3)

Вихідні дані:

Необхідно перевірити несучу здатність дощатоклеєної балки прямокутного перерізу постійної висоти прольотом $l = 12,00$ м (рис. 2.6).

Розміри поперечного перерізу $b \times h = 150 \times 1200$ мм з соснових дошок класу міцності GL24h, експлуатаційний клас – 1.

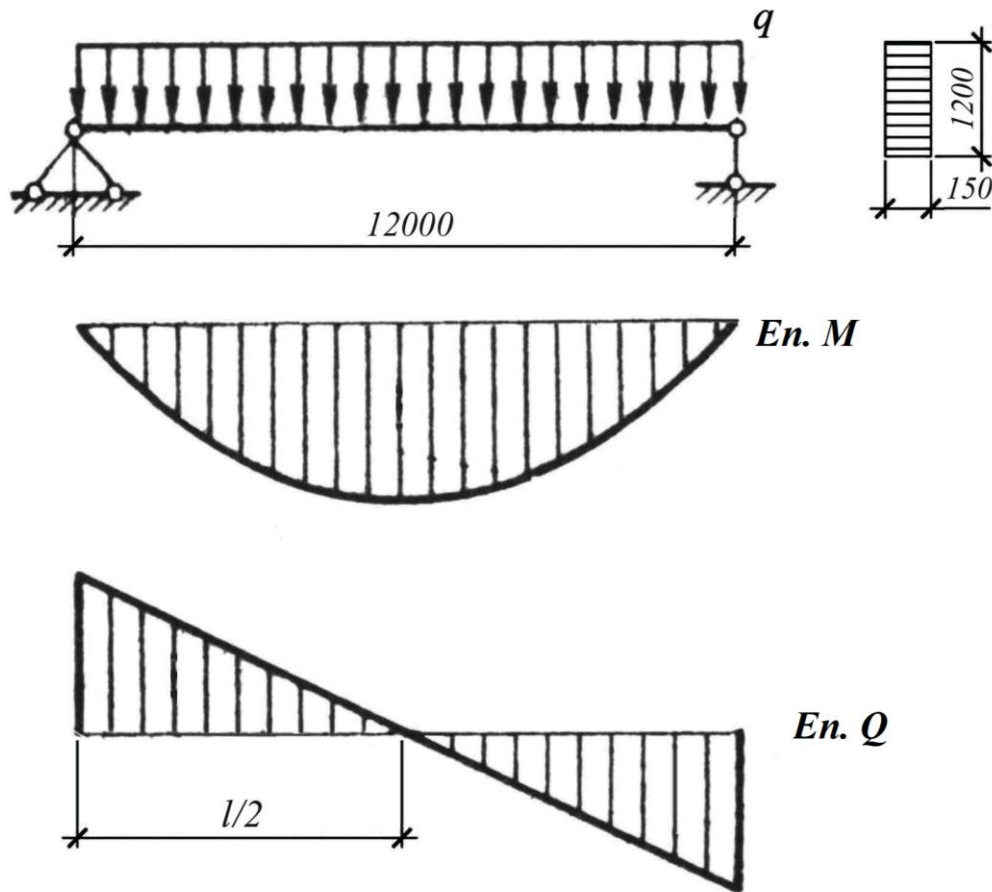


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема балки

Сумарне значення рівномірно розподіленого постійного та снігового навантаження дорівнює:

→ характеристичне значення навантаження:

- від постійного навантаження: $q_k = 8$ кН/м;
- від корисного навантаження (середньої тривалості): $q_k = 10$ кН/м;

→ граничне розрахункове значення навантаження:

- від постійного навантаження: $q_d = 9,6$ кН/м;
- від корисного навантаження (середньої тривалості): $q_d = 12,0$ кН/м.

Розв’язок:

Визначаються граничні розрахункові внутрішні зусилля в перерізі балки.

1. Максимальний граничний розрахунковий згинальний момент:

- від постійного навантаження:

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{9,6 \text{ кН / м} \cdot (12,0 \text{ м})^2}{8} = 172,8 \text{ кНм};$$

- від корисного навантаження (середньої тривалості):

$$M_d = \frac{q_d \cdot l^2}{8} = \frac{12,0 \text{ кН / м} \cdot (12,0 \text{ м})^2}{8} = 216,0 \text{ кНм}.$$

2. Максимальна гранична розрахункова поперечна сила:

- від постійного навантаження:

$$N_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{9,6 \text{ кН / м} \cdot 12,0 \text{ м}}{2} = 57,6 \text{ кН};$$

- від корисного навантаження (середньої тривалості):

$$N_d = \frac{q_d \cdot l}{2} = \frac{12,0 \text{ кН / м} \cdot 12,0 \text{ м}}{2} = 72,0 \text{ кН}.$$

3. Перевірка перерізу балки за нормальними напруженнями виконується за формулою (2.13).

Розрахунковий момент опору перерізу:

$$W_d = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \text{ см} \cdot (120 \text{ см})^2}{6} = 36000 \text{ см}^3.$$

Розрахункові нормальні напруження визначаються за формулою (2.14):

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_d} = \frac{172,8 \text{ кНм} \cdot 100}{36000 \text{ см}^3} = 0,48 \text{ кН / см}^2 = 4,8 \text{ МПа};$$

- від корисного навантаження (середньої тривалості):

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_d} = \frac{216,0 \text{ кНм} \cdot 100}{36000 \text{ см}^3} = 0,60 \text{ кН / см}^2 = 6,0 \text{ МПа}.$$

4. Розрахункове значення міцності деревини при згині визначається за формулою (2.15):

- для постійного навантаження:

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{24 \text{ МПа}}{1,25} = 11,52 \text{ МПа};$$

- для корисного навантаження (середньої тривалості):

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24 \text{ МПа}}{1,25} = 15,36 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,6$ та $0,8$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та постійного навантаження і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, за дод. 2;

$f_{m,g,k} = 24 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL24h при згині у відповідності з дод. 4;

$\gamma_M = 1,25$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини, приймається за табл. 1.3.

$$\frac{4,8 \text{ МПа}}{11,52 \text{ МПа}} + \frac{6,0 \text{ МПа}}{15,36 \text{ МПа}} = 0,47 + 0,39 = 0,85 < 1,0.$$

Міцність перерізу за нормальними напруженнями забезпечується.

Наступною умовою є перевірка перерізу балки на зсув (сколювання вздовж волокон) слід виконувати за формулою (2.21).

5. Розрахункове напруження зсуву для прямокутного перерізу визначається за формулою (2.23):

- від постійного навантаження:

$$\tau_d = \frac{Q_d \cdot 1,5}{h \cdot b_{ef}} = \frac{57,6 \text{ кН} \cdot 1,5}{120 \text{ см} \cdot 0,67 \cdot 15 \text{ см}} = 0,07 \text{ кН} / \text{см}^2 = 0,7 \text{ МПа};$$

- від корисного навантаження (середньої тривалості):

$$\tau_d = \frac{Q_d \cdot 1,5}{h \cdot b_{ef}} = \frac{72 \text{ кН} \cdot 1,5}{120 \text{ см} \cdot 0,67 \cdot 15 \text{ см}} = 0,09 \text{ кН} / \text{см}^2 = 0,9 \text{ МПа}.$$

6. Розрахункове значення міцності деревини при зсуві для фактичних умов визначається за формулою (2.24):

- для постійного навантаження:

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{2,7 \text{ МПа}}{1,25} = 1,3 \text{ МПа};$$

- для корисного навантаження (середньої тривалості):

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{2,7 \text{ МПа}}{1,25} = 1,73 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,6$ та $0,8$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, за дод. 2;

$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL24h при зсуві у відповідності з дод. 4;

$\gamma_M = 1,25$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини, приймається за табл. 1. 3.

$$\frac{0,7 \text{ МПа}}{1,3 \text{ МПа}} + \frac{0,9 \text{ МПа}}{1,73 \text{ МПа}} = 0,53 + 0,52 = 1,05 > 1,0.$$

Міцність перерізу балки на зсув не забезпечено. Необхідно збільшити поперечний переріз чи вжити інших конструктивних заходів.

7. Перевірка перерізу балки з урахуванням стійкості плоскої форми деформування за формулою (2.16).

Відносна гнучкість при згині визначається за формулою (2.18):

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{24 \text{ МПа}}{12,7 \text{ МПа}}} = 1,38,$$

де критичне напруження при згині визначається за формулою (2.20):

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{\text{ef}}} E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot (15 \text{ см})^2}{120 \text{ см} \cdot 1080 \text{ см}} \cdot 9400 \text{ МПа} = 12,7 \text{ МПа},$$

де $l_{\text{ef}} = 0,9 \cdot 1200 = 1080 \text{ см}$ – розрахункова довжина балки у відповідності з **рис. 2.3**; $E_{0,05} = 9'400 \text{ МПа}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за **дод. 4**.

За умовою (2.17) визначаємо k_{krit} :

$$k_{krit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 1 / 1,38^2 = 0,4.$$

$$\frac{4,8 \text{ МПа}}{0,4 \cdot 11,52 \text{ МПа}} + \frac{6,0 \text{ МПа}}{0,4 \cdot 15,36 \text{ МПа}} = 1,17 + 0,98 = 2,15 > 1,0.$$

Стійкість плоскої форми згину не забезпечено.

8. Необхідно збільшити поперечний переріз або зменшити розрахункову довжину балки, розкріпивши її розпівками.

Розкріплюємо балку розпівкою посередині прольоту.

Відносна гнучкість при згині визначається за формулою (2.18):

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \text{ МПа}}{25,5 \text{ МПа}}} = 0,97,$$

де критичне напруження при згині визначається за формулою (2.20):

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0.05} = \frac{0,78 \cdot (15 \text{ см})^2}{120 \text{ см} \cdot 540 \text{ см}} \cdot 9400 \text{ МПа} = 25,5 \text{ МПа},$$

де $l_{ef} = 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ см}$ – розрахункова довжина балки у відповідності з рис. 2.3;

$E_{0.05} = 9400 \text{ МПа}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 4.

За умовою (2.17) визначаємо k_{krit} :

$$k_{krit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 1 / 0,97^2 = 1,06.$$

$$\frac{4,8 \text{ МПа}}{1,06 \cdot 11,52 \text{ МПа}} + \frac{6,0 \text{ МПа}}{1,06 \cdot 15,36 \text{ МПа}} = 0,39 + 0,37 = 0,76 < 1,0.$$

Стійкість плоскої форми згину забезпечено.

9. Перевірка перерізу балки за другою групою граничних станів (експлуатаційною придатністю) виконується за наступною формулою:

$$u_{net,fin} = u_{G,inst} + \psi \cdot u_{Q,inst}.$$

Експлуатаційне розрахункове значення:

- від постійного навантаження: $q_e = q_k \cdot \gamma_{fe} = 8 \cdot 1 = 7 \text{ кН/м}$;
- від корисного навантаження (середньої тривалості): $q_e = q_k \cdot \gamma_{fe} = 10 \cdot 1 =$

10 кН/м;

Миттєвий прогин визначаємо за формулою з **табл. 2.1**:

- від постійного навантаження:

$$u_{G,inst} = \frac{5q_e \cdot l^4}{32E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5 \cdot 8 \text{ кН / м} \cdot 10^{-2} \cdot (12 \text{ м})^4 \cdot 10^8}{32 \cdot 11600 \text{ МПа} \cdot 10^{-1} \cdot 15 \text{ см} \cdot (120 \text{ см})^3} = 0,86 \text{ см};$$

- від корисного навантаження:

$$u_{Q,inst} = \frac{5q_e \cdot l^4}{32E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} = \frac{5 \cdot 10 \text{ кН / м} \cdot 10^{-2} \cdot (12 \text{ м})^4 \cdot 10^8}{32 \cdot 11600 \text{ МПа} \cdot 10^{-1} \cdot 15 \text{ см} \cdot (120 \text{ см})^3} = 1,08 \text{ см},$$

де $E_{0,g,mean} = 11'600 \text{ МПа}$ – значення модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 4.

Прогин від повзучості матеріалу визначається за формулою

$$u_{creep} = \psi u_{Q,inst}.$$

Підвищуючий коефіцієнт, який враховує вплив повзучості визначається за формулою з табл. 2.1:

$$\psi = \left[1 + 0,96 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] = \left[1 + 0,96 \frac{11600}{720} \left(\frac{1,2}{12} \right)^2 \right] = 1,155.$$

де $E_{0,g,mean} = 11'600 \text{ МПа}$ – значення модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 4;

$G_{g,mean} = 720 \text{ МПа}$ – значення модуля зсуву деревини вздовж волокон, приймається за дод. 4.

$$u_{net,fin} = u_{G,inst} + \psi \cdot u_{Q,inst} = 0,86 + 1,155 \cdot 1,08 = 2,11 \text{ см}.$$

Максимально допустимий прогин становить:

$$(u_{net,fin})_u = (1/250 \dots 1/350) \cdot l = (1/250 \dots 1/350) \cdot 1200 = 4,8 \dots 3,43 \text{ см}.$$

Перевірка балки за другою групою граничних станів (експлуатаційною придатністю) **виконується**, деформації балки не перевищують гранично допустимих значень.

Таблица 2.5

Вихідні дані до виконання лабораторної роботи №3

№ п/п	Найменування вихідних даних	Номер варіанту									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Висота прольоту балки,	11,5	12,0	12,3	12,7	13,0	13,2	13,8	14,1	14,6	15,0
2.	Розміри поперечного перерізу, мм	130×1000	150×1200	130×1000	150×1200	170×1400	190×1600	210×1800	230×2000	250×2200	270×2400
3.	Порода деревини	Сосна		Ялина		Дуб		Клен		Бук	
4.	Постійне навантаження, кН/м	5.5		6		6.5		7		7.5	
5.	Корисне навантаження, кН/м	8.5		9		9.5		10		11	
6.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6–161:2017, додаток Б [4]										
	хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50	
	листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		D34	
7.	Експлуатаційний клас деревини – 2										
8.	Тип поперечного перерізу – <i>прямокутний</i>										

2.4. Лабораторна робота №4

Тема: визначення міцності позацентрово розтягнутого елемента дерев'яних конструкцій.

Мета роботи: навчитися визначати міцність дерев'яних елементів, які працюють на дію позацентрового розтягу від дії постійного та тимчасового навантаження.

Хід виконання роботи

При розрахунку на міцність позацентрово розтягнутого елемента, згідно п. 9.5 [4], повинні виконуватись наступні умови:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.25)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.26)$$

де $\sigma_{t,0,d}$ – розрахункове напруження при розтягу вздовж волокон; визначається за формулою (2.2) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ – розрахункові напруження при згині відносно відповідних осей, що визначаються за формулами (2.27) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{t,0,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при розтягу вздовж волокон, що визначається за формулою (2.3) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$ – розрахункове значення міцності деревини при згині відносно відповідних осей, що визначаються за формулою (2.15) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

k_m – коефіцієнт, що враховує перерозподіл напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі елемента.

Величина коефіцієнту k_m приймається для суцільної деревини, клеєної

деревини та LVL:

– $k_m = 0,7$ – для прямокутного перерізу;

– $k_m = 1,0$ – для інших видів поперечного перерізу. Для інших будівельних виробів на основі деревини для всіх видів поперечного перерізу: $k_m = 1,0$.

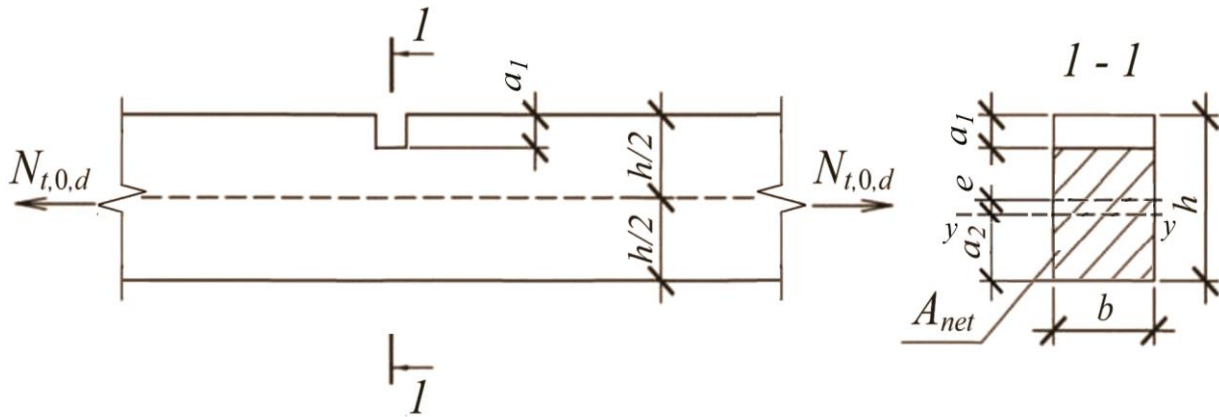


Рисунок 2.7 – Позацентрово розтягнутий елемент

Розрахункові напруження від згинального моменту при позацентровому розтягу визначаються за формулами:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,net}}, \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,net}}, \quad (2.27)$$

де $M_{y,d}$, $M_{z,d}$ – розрахункові значення згинальних моментів, відносно відповідних осей;

$W_{y,net}$, $W_{z,net}$ – розрахункові моменти опору перерізу (з урахуванням ослаблення в розрахунковому перерізі), що визначається у відповідності до рис. 2.7 за формулою:

$$W_{y,net} = \frac{b \cdot (h - h_{os})^2}{6},$$

$$W_{z,net} = \frac{(h - h_{os}) \cdot b^2}{6}.$$

Приклад розрахунку позацентрово розтягнутого дерев'яного елемента (до лабораторної роботи №4)

Вихідні дані

Необхідно перевірити міцність позацентрово розтягнутого дерев'яного елемента на дію розрахункового зусилля від постійного $N_{t,0,d} = 110 \text{ кН}$ та навантаження середньої тривалості (снігове) $N_{t,0,d} = 140 \text{ кН}$.

Елемент суцільного перерізу з розмірами $b \times h = 200 \times 250 \text{ мм}$ має ослаблення з одного боку врізкою глибиною $a_1 = 30 \text{ мм}$ (рис. 2.8). Деревина – класу міцності С24.

Експлуатаційний клас – 1.

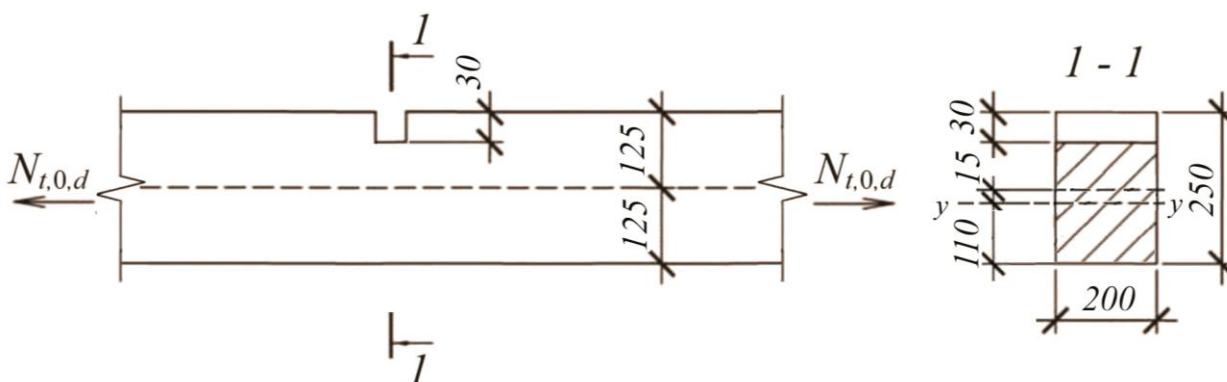


Рисунок 2.8 – Позацентрово розтягнутий елемент

В ослабленому перерізі нейтральна вісь ($y-y$) не співпадає з віссю прикладання зусилля $N_{t,0,d}$. Вона зміщується на величину ексцентриситету e .

Відповідно, в ослабленому перерізі на елемент конструкції одночасно будуть діяти повздовжня сила та згинальний момент $M_d = N_{t,0,d} \cdot e$.

Перевірку міцності позацентрово розтягнутого елемента слід виконувати за формулою (2.12).

За формулою (2.25) визначаємо розрахункове напруження розтягу вздовж волокон:

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}} = \frac{110 \text{ кН}}{440 \text{ см}^2} = 0,25 \text{ кН / см}^2 = 2,5 \text{ МПа};$$

- від снігового навантаження:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}} = \frac{140 \text{ кН}}{440 \text{ см}^2} = 0,32 \text{ кН / см}^2 = 3,2 \text{ МПа},$$

де $A_{net} = 20 \text{ см} \cdot 25 \text{ см} - 3,0 \text{ см} \cdot 20 \text{ см} = 440,0 \text{ см}^2$ – площа перерізу нетто.

За формулою (2.27) визначаємо розрахункове напруження при згині:

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,net}} = \frac{165 \text{ кН}}{1613,3 \text{ см}^3} = 0,10 \text{ кН / см}^2 = 1,0 \text{ МПа};$$

- від снігового навантаження:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{y,net}} = \frac{210 \text{ кН}}{1613,3 \text{ см}^3} = 0,13 \text{ кН / см}^2 = 1,3 \text{ МПа},$$

де $M_{y,d} = N_{t,0,d} \cdot e = 110 \text{ кН} \cdot 1,5 \text{ см} = 165 \text{ кН} \cdot \text{см}$ – розрахунковий згинальний момент від постійного навантаження;

$M_{y,d} = N_{t,0,d} \cdot e = 140 \text{ кН} \cdot 1,5 \text{ см} = 210 \text{ кН} \cdot \text{см}$ – розрахунковий згинальний момент від навантаження середньої тривалості (снігового);

$$e = \frac{h}{2} - \frac{h - a_1}{2} = \frac{a_1}{2} = \frac{30 \text{ мм}}{2} = 15 \text{ мм} \quad - \quad \text{ексцентриситет прикладання}$$

повздовжнього зусилля розтягу в місці ослаблення (розрахунковому перерізі).

$$W_{y,net} = \frac{b \cdot (h - h_s)^2}{6} = \frac{20 \text{ см} \cdot (25 \text{ см} - 3,0 \text{ см})^2}{6} = 1613,3 \text{ см}^3 \quad - \quad \text{розрахунковий}$$

момент опору перерізу з урахуванням ослаблення.

За формулою (2.3) визначимо розрахункове значення міцності деревини розтягу вздовж волокон:

- для постійного навантаження:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{14 \text{ МПа}}{1,3} = 6,46 \text{ МПа};$$

- для снігового навантаження (середньої тривалості):

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{14 \text{ МПа}}{1,3} = 8,61 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,6$ та $k_{\text{mod}} = 0,8$ – коефіцієнт перетворення для 1-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, що приймаються за дод. 2;

$f_{t,0,k} = 14 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності С24 при розтягу вздовж волокон у відповідності з дод. 3;

$\gamma_M = 1,3$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для цільної деревини, приймається за табл. 1.3.

За формулою (2.15) визначимо розрахункове значення міцності деревини при згині:

- для постійного навантаження:

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{24 \text{ МПа}}{1,3} = 11,1 \text{ МПа};$$

- для снігового навантаження (середньої тривалості):

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{24 \text{ МПа}}{1,3} = 14,8 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,6$ та $k_{\text{mod}} = 0,8$ – коефіцієнт перетворення для 1-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, що приймаються за дод. 2;

$f_{m,k} = 24 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності класу міцності С24 на згин у відповідності з дод. 3;

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

Перевіряємо міцність позацентрово розтягнутого елемента:

$$\begin{aligned} & \frac{2,5 \text{ МПа}}{6,46 \text{ МПа}} + \frac{3,2 \text{ МПа}}{8,61 \text{ МПа}} + \frac{1,0 \text{ МПа}}{11,1 \text{ МПа}} + \frac{1,3 \text{ МПа}}{14,8 \text{ МПа}} = \\ & = 0,39 + 0,37 + 0,19 + 0,09 = 0,94 < 1,0. \end{aligned}$$

Перевірка виконується. Міцність елемента забезпечена.

Вихідні дані до виконання лабораторної роботи №4

№ п/п	Найменування вихідних даних	Номер варіанту									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Постійне навантаження, <i>кН</i>	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
2.	Навантаження снігове, <i>кН</i>	120		140		160		180		200	
3.	Розміри елементу суцільного перерізу, <i>мм</i>	200×250		220×270		240×290		260×310		280×330	
4.	Врізка, <i>мм</i>	25		30		35		40		45	
5.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6–161:2017, додаток Б [4]										
	хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50	
	листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		D34	
6.	Експлуатаційний клас деревини – 1										
7.	Тип поперечного перерізу – <i>прямокутний</i>										

2.5. Лабораторна робота №5

Тема: визначення міцності та стійкості елементу дерев'яних конструкцій, що працюють на стиск зі згином

Мета роботи: навчитися визначати міцність та стійкість дерев'яних елементів, які працюють на стиск зі згином від дії постійного та тимчасового навантаження.

Хід виконання роботи

Розрахунок міцності та стійкості елементів, що працюють на стиск зі згином (рис. 2.9) слід виконувати за п. 9.6 [4].

При $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ мають виконуватись умови:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad (2.28)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; , \quad (2.29)$$

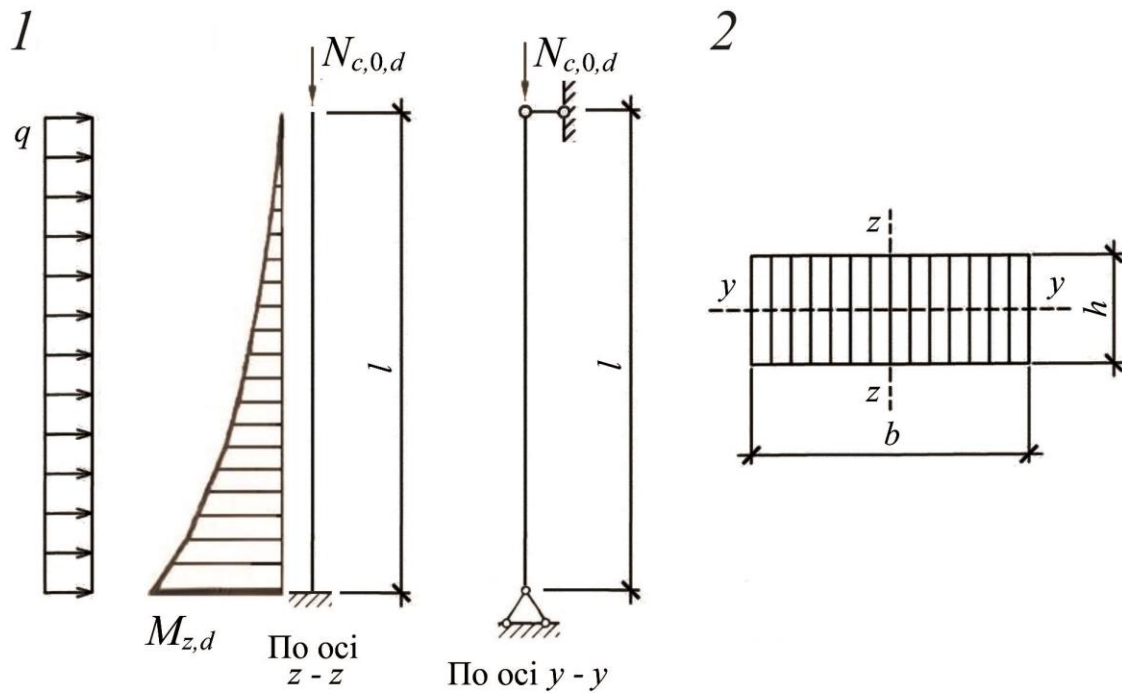


Рисунок 2.9 – Елемент дерев'яної конструкції, який працює на стиск зі згином

При $\lambda_{rel,z} > 0,3$ мають виконуватись умови:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \quad (2.30)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.31)$$

де $\sigma_{c,0,d}$ – розрахункове напруження стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.34) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ – розрахункові напруження при згині відносно відповідних осей, що визначаються за формулою (2.35) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$f_{c,0,d}$ – розрахункове значення міцності деревини стиску вздовж волокон, що визначається за формулою (2.6) для кожного класу навантаження за

тривалістю дії; $f_{m,y,d}$,

$f_{m,z,d}$ – розрахункове значення міцності деревини згину відносно відповідних осей, що визначаються за формулою (2.15) для кожного класу навантаження за тривалістю дії;

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$ – коефіцієнти повздовжнього згину відносно відповідних осей, визначаються за формулами (2.8);

k_m – коефіцієнт, що враховує перерозподіл напружень і вплив неоднорідності матеріалу в поперечному перерізі елемента.

Величина коефіцієнту k_m приймається для суцільної деревини, клеєної деревини та LVL:

– $k_m = 0,7$ – для прямокутного перерізу;

– $k_m = 1,0$ – для інших видів поперечного перерізу.

Для інших будівельних виробів на основі деревини для всіх видів поперечного перерізу: $k_m = 1,0$.

У випадку коли згин відбувається тільки відносно однієї осі елемента перевірка міцності та стійкості елементів, що працюють на стиск зі згином (відносно осі $z - z$), виконується таким чином:

- при $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ має виконуватись умова:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2.32)$$

- при $\lambda_{rel,z} > 0,3$ має виконуватись умова:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (2.33)$$

Нормальні напруження від стискаючої сили, визначаються за формулою:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_d}, \quad (2.34)$$

де $N_{c,0,d}$ – розрахункова стискаюча сила,

A_d – розрахункова площа поперечного перерізу.

Нормальні напруження згину відносно осі $z-z$, визначаються за формулою:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,d}}, \quad (2.35)$$

де $M_{z,d}$ – розрахунковий згинальний момент відносно осі $z-z$;

$W_{z,d}$ – розрахунковий момент опору поперечного перерізу конструкції відносно осі $z-z$;

$\lambda_{rel,z}$ – відносна гнучкість стійки відносно осі $z-z$ визначається за формулою (2.10);

$k_{c,z}$ – коефіцієнт повздовжнього згину відносно осі $z-z$ визначається за формулою (2.8).

Розрахунок міцності із площини дії згинального моменту конструкції (відносно осі $y-y$):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1. \quad (2.36)$$

Перевірку перерізу колони на зсув (сколювання вздовж волокон) слід виконувати за формулою (2.21).

Окремі складові в формулі (2.21) визначаються за формулами (2.22) – (2.24).

Приклад розрахунку дерев'яного елементу конструкції, який працює на стиск зі згином (до лабораторної роботи №5)

Вихідні дані

Необхідно перевірити переріз колони рами (рис. 2.10). На колону діє осьове стискаюче розрахункове зусилля від постійного $N_{c,0,d} = 175$ кН та навантаження середньої тривалості (снігового) $N_{c,0,d} = 190$ кН.

Розрахунковий згинальний момент від вітрового навантаження $M_{z,d} = 28,8$ кНм, розрахункова поперечна сила від вітрового навантаження $Q_d = 7,6$ кН. Довжина колони $l = 4,3$ м. Розміри поперечного перерізу $b \times h = 150 \times 600$ мм з

клеєної однорідної деревини класу міцності GL32h. Експлуатаційний клас – 2.

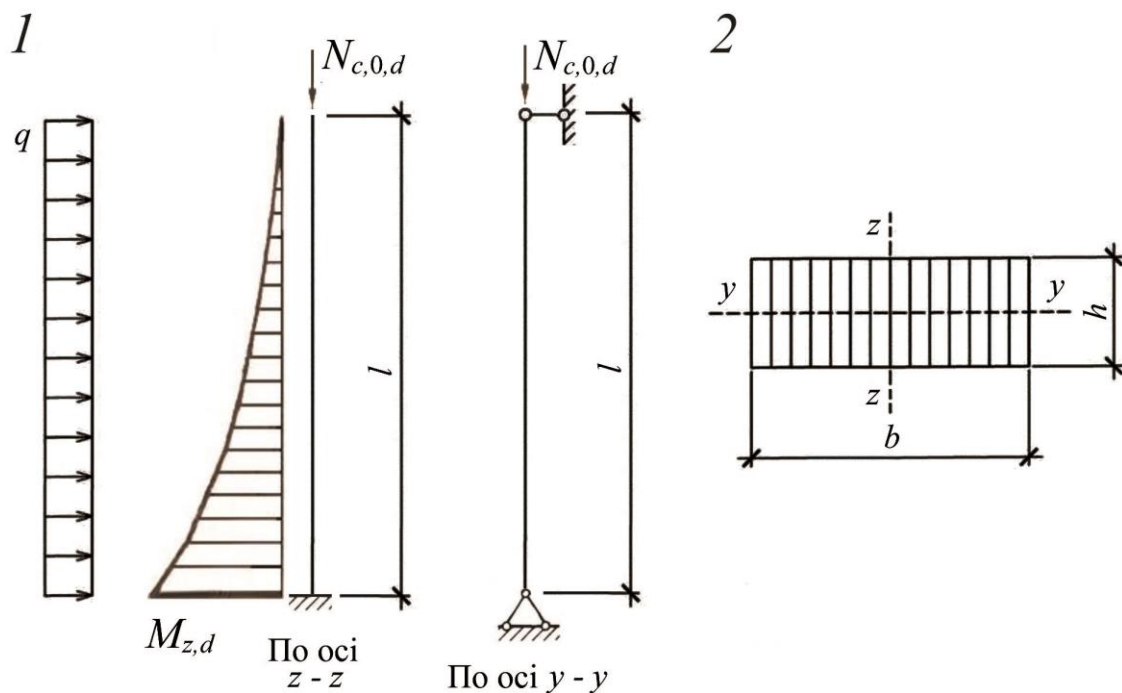


Рисунок 2.10 – До розрахунку колони:

1 – розрахункова схема колони; 2 – поперечний переріз колони

Розв’язок

1. Розрахунок міцності в площині дії згинального моменту (відносно осі $z-z$) слід виконувати за формулами (2.32) або (2.33) у залежності від $\lambda_{rel,z}$.

2. Нормальні напруження від стискаючої складової визначається за формулою (2.34):

- від постійного навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_d} = \frac{175 \text{ кН}}{15 \text{ см} \cdot 60 \text{ см}} = 0,19 \text{ кН / см}^2 = 1,9 \text{ МПа};$$

- від снігового навантаження:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,0,d}}{A_d} = \frac{190 \text{ кН}}{15 \text{ см} \cdot 60 \text{ см}} = 0,21 \text{ кН / см}^2 = 2,1 \text{ МПа}.$$

3. Напруження від дії згинального моменту відносно осі $z-z$ визначається за формулою (2.35):

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_{z,d}} = \frac{28,8 \text{ кНм} \cdot 100}{9000 \text{ см}^3} = 0,32 \text{ кН} / \text{см}^2 = 3,2 \text{ МПа},$$

де розрахунковий момент опору поперечного перерізу конструкції:

$$W_{y,net} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15 \text{ см} \cdot (60 \text{ см})^2}{6} = 9000 \text{ см}^3.$$

4. Відносну гнучкість колони відносно осі $z-z$ визначаємо за формулою (2.10):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,g,05}}} = \frac{54,56}{3,14} \sqrt{\frac{29,0 \text{ МПа}}{11100 \text{ МПа}}} = 0,89,$$

де λ_z – гнучкість стійки відносно осі $z-z$;

$f_{c,0,g,k} = 29,0 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL32h при стиску вздовж волокон у відповідності з дод. 4;

$E_{0,g,05} = 11100 \text{ МПа}$ – 5%-й квантіль модуля пружності деревини вздовж волокон, приймається за дод. 4.

5. Гнучкість стійки відносно осі $z-z$ дорівнює:

$$\lambda_z = \frac{l_{z,d}}{i_z} = \frac{946 \text{ см}}{17,34 \text{ см}} = 54,56,$$

де $l_{z,d} = \mu_z \cdot l = 2,2 \cdot 430 \text{ см} = 946,0 \text{ см}$ – розрахункова довжина елемента при одному защемленому а другому вільному кінці;

$\mu_z = 2,2$ – коефіцієнт розрахункової довжини прийнятий у відповідності до рис. 2.3;

$i_z = 0,289 \cdot h = 0,289 \cdot 60,0 \text{ см} = 17,34 \text{ см}$ – радіус інерції перерізу відносно осі $z-z$.

6. Визначимо коефіцієнт $k_{c,z}$ за формулою (2.8):

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,89^2}} = 0,99;$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_z \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,89 - 0,3) + 0,89^2] = 0,93.$$

7. Розрахункове значення міцності деревини стиску вздовж волокон

становить:

- для постійного навантаження:

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{29,0 \text{ МПа}}{1,25} = 13,92 \text{ МПа};$$

- для снігового навантаження (середньої тривалості):

$$f_{c,0,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{29,0 \text{ МПа}}{1,25} = 18,56 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,6$ та $k_{\text{mod}} = 0,8$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та постійного і навантаження середньої тривалості (снігове) відповідно, що приймаються за дод. 2.

$f_{c,0,g,k} = 29,0 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL32h при стиску вздовж волокон у відповідності з дод. 4;

$\gamma_M = 1,25$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини, приймається за табл. 1.3.

8. Розрахункове значення міцності деревини при згині становить:

- для вітрового навантаження:

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} \cdot k_h = 0,9 \cdot \frac{32 \text{ МПа}}{1,25} \cdot 1,0 = 23,04 \text{ МПа},$$

де $k_{\text{mod}} = 0,9$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та короткочасного навантаження (вітрове), що приймається за дод. 2;

$f_{m,g,k} = 32,0 \text{ МПа}$ – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL32h при згині у відповідності з дод. 4;

$\gamma_M = 1,25$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини, приймається за табл. 1.3;

9. Виконуємо перевірку

$$\frac{1,9 \text{ МПа}}{0,99 \cdot 13,92 \text{ МПа}} + \frac{2,1 \text{ МПа}}{0,99 \cdot 18,56 \text{ МПа}} + \frac{3,2 \text{ МПа}}{23,04 \text{ МПа}} = 0,14 + 0,12 + 0,14 = 0,40 < 1,0.$$

Умова виконується.

Міцність дерев'яної конструкції колони у площині дії згинального

моменту *забезпечується*.

10. Розрахунок міцності із площини дії згинального моменту (відносно осі $y-y$) виконуємо за формулою (2.36).

11. Гнучкість стійки відносно осі $y-y$ дорівнює:

$$\lambda_y = \frac{l_{y,d}}{i_y} = \frac{430 \text{ см}}{4,34 \text{ см}} = 99,1;$$

де $l_{y,d} = \mu_y \cdot l = 1,0 \cdot 430 \text{ см} = 430 \text{ см}$ – розрахункова довжина елемента при двох шарнірно закріплених кінцях;

$\mu = 1,0$ – коефіцієнт розрахункової довжини прийнятий у відповідності до рис. 2.3;

$i_y = 0,289 \cdot b = 0,289 \cdot 15,0 \text{ см} = 4,34 \text{ см}$ – радіус інерції перерізу відносно осі $y-y$.

12. Відносна гнучкість стійки відносно осі $y-y$ дорівнює:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,g,05}}} = \frac{99,1}{3,14} \sqrt{\frac{29,0 \text{ МПа}}{11100 \text{ МПа}}} = 1,61.$$

13. Визначимо коефіцієнт $k_{c,y}$:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,86 + \sqrt{1,86^2 - 1,61^2}} = 0,358;$$

$$K_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,61 - 0,3) + 1,61^2] = 1,86.$$

14. Розрахункові значення міцності деревини:

$$\frac{1,9 \text{ МПа}}{0,358 \cdot 13,92 \text{ МПа}} + \frac{2,1 \text{ МПа}}{0,358 \cdot 18,56 \text{ МПа}} = 0,38 + 0,32 = 0,70 < 1,0.$$

Міцність із площини дії згинального моменту *забезпечена*.

15. Перевірку перерізу колони на зсув (сколювання вздовж волокон) слід виконувати за формулою (2.21). Розрахункове напруження зсуву для прямокутного перерізу визначається за формулою (2.23):

$$\tau_d = \frac{Q_d \cdot 1,5}{h \cdot b_{ef}} = \frac{7,6 \text{ кН} \cdot 1,5}{60 \text{ см} \cdot 0,67 \cdot 15 \text{ см}} = 0,019 \text{ кН} / \text{см}^2 = 0,19 \text{ МПа}.$$

15. Розрахункове значення міцності деревини при зсуві для фактичних умов визначається за формулою (2.24):

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{3,8 \text{ МПа}}{1,25} = 2,74 \text{ МПа},$$

у якій $k_{\text{mod}} = 0,9$ – коефіцієнт перетворення для 2-го експлуатаційного класу та короточасного навантаження (вітрове) у відповідності до дод. 2;

$f_{v,g,k} = 3,8$ МПа – характеристичне значення міцності деревини класу міцності GL32h при зсуві у відповідності до дод. 4;

$\gamma_M = 1,25$ – коефіцієнт надійності за матеріалом для клеєної деревини, приймається за табл. 1.3.

16. Перевірку перерізу балки на зсув (сколювання вздовж волокон) виконуємо за формулою (2.21):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{0,19 \text{ МПа}}{2,74 \text{ МПа}} = 0,07 < 1,0.$$

Умова виконується. Міцність перерізу балки на зсув забезпечена.

Таблиця 2.7

Вихідні дані до виконання лабораторної роботи №5

№ п/п	Найменування вихідних даних	Номер варіанту									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Постійне навантаження, <i>кН</i>	100	115	125	135	145	155	166	175	185	195
2.	Навантаження снігове, <i>кН</i>	120		140		170		190		200	
3.	Розміри елементу суцільного перерізу, <i>мм</i>	130×450		140×500		150×600		160×700		170×800	
4.	Згинальний момент, <i>кНм</i>	25,7		28,8		30,1		38,5		41,7	
5.	Поперечна сила <i>кН</i>	6,3		7,6		8,1		8,7		9,2	
5.	Клас міцності цільної деревини за ДБН В.2.6–161:2017, додаток Б [4]										
	хвойної, таблиця Б.1	С30		С35		С40		С45		С50	
	листяної, таблиця Б.2	D34		D40		D50		D60		D34	
6.	Експлуатаційний клас деревини – 2										
7.	Тип поперечного перерізу – <i>прямокутний</i>										

ДОДАТКИ

Додаток 1

Терміни та визначення понять

Геометрична нелінійність – нелінійна залежність між деформаціями і переміщеннями, обумовлена величиною переміщень і поворотів, що розглядаються.

Гнучкість стержня – відношення розрахункової довжини стержня до радіуса інерції його поперечного перерізу.

Деформована схема – розрахункова схема, в рівняннях рівноваги якої враховуються переміщення від початкового навантаженого стану та зміна розташування цих навантажень внаслідок деформації системи.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати роботоздатний стан до настання граничного стану в умовах установленної системи технічного обслуговування та ремонту.

Надійність будівельного об'єкта – властивість об'єкта виконувати задані функції протягом заданого проміжку часу.

Несуча здатність – здатність конструкції або її елементів чинити опір певному виду і рівню навантажень і впливів.

Граничний стан – стан, за якого подальша експлуатація будівельного об'єкта недопустима, пов'язана з труднощами або недоцільна.

Розрахункова довжина елемента – вільна довжина елемента між точками розкріплення, яку визначено з урахуванням форми втрати стійкості.

Складний напружений стан – стан, за якого подальша експлуатація будівельного об'єкта недопустима, пов'язана з труднощами або недоцільна.

Вологість деревини – відсотковий вміст води в деревині по відношенню до ваги сухої деревини.

Рівноважна вологість деревини – відсотковий вміст води, за якого деревина не всмоктує і не віддає вологу до навколишнього середовища.

Точка насичення волокон деревини (границя гігроскопічності деревини) – відсотковий вміст вологи, за якого вологою насичені тільки стінки клітин деревини.

Характеристичне значення міцності деревини – п'ятивідсотковий квантиль статичного розподілу границі міцності деревини.

Граничні стани за несучою здатністю – стани, пов'язані з руйнуванням або іншими схожими формами відмови конструкції.

Граничні стани за експлуатаційною придатністю – стани, що відповідають умовам, поза межами яких визначені експлуатаційні вимоги для конструкції або елемента конструкції більше не виконуються.

Розрахункове напруження – напруження, яке було отримано в результаті розрахунку елемента чи з'єднання за правилами, що викладено в цих Норммах, і яке діє в напрямку однієї з головних геометричних осей елемента чи з'єднання.

Розрахунок конструкцій першого порядку – розрахунок без урахування впливу деформацій конструкції (за недеформованою схемою), але з включенням геометричних недосконалостей.

Розрахунок конструкцій другого порядку – розрахунок конструкцій із урахуванням їх деформацій (розрахунок за деформованою схемою).

Гниття деревини – деструкція деревини внаслідок життєдіяльності спорових мікроорганізмів.

Нагель – циліндричний гладкий стержень зі сталі, твердих порід деревини, конструкційних склопластиків, який щільно встановлено в отвори з'єднувальних елементів і деталей.

Металева зубчаста пластина (МЗП) – пластина з тонкого листа, в якій методом штампування утворено загострені зубці.

Зв'язки – елементи, що використовуються для з'єднання елементів дерев'яних конструкцій (нагелі, болти, гвинти, зубчасті шпонки тощо).

LVL (англ. Laminated Veneer Lumber) – пиломатеріал із клеєного шпону– конструкційний матеріал, виготовлений за технологією склеювання декількох шарів лущеного шпону хвойних порід (сосна, ялина, модрина) товщиною близько 3 мм так, щоб волокна деревини суміжних шарів розташовувались паралельно.

OSB (англ. Oriented Strand Board) – орієнтовано-стружкова плита – багатошарова плита, що складається з деревинної стружки, яка має різну пошарову орієнтацію по товщині плити, склеєної різними смолами з додаванням синтетичного воску і борної кислоти.

Властивості матеріалів.

Значення для коефіцієнта перетворення 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, фанера-2	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-стружечні плити (ЦСП), ДВП (Тип MBH.HLA2 EN 622-2:2004- 07)	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 (Тип OSB/2 ^a , 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	—
ДВП ^a (Тип MBH.LA2 по EN 622-3:2004-07), гіпсокартонні плити (Тип GKB ^a , GKF ^a , GKBI та GKFI)	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	—

Класи міцності деревини.

Характеристичні значення міцності, жорсткості та щільності
для хвойної деревини

№ п/п	Класи міцності	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Значення міцності, МПа													
1	Згин $f_{m,k}^a$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
2	Розтяг вздовж $f_{t,o,k}^a$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
3	Розтяг поперек $f_{t,90,k}$	0.4											
4	Стиск вздовж $f_{c,0,k}^a$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
5	Стиск поперек $f_{c,0,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2.4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3.1	3.2
6	Зсув та кручення $f_{v,k}^a$	2,0											
Значення жорсткості, МПа													
7	Модуль пружності вздовж $E_{0,mean}^{a,b}$	7000	8000	9000	9500	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000	16000
8	Модуль пружності впоперек $E_{90,mean}^b$	230	270	300	320	330	370	380	400	430	470	500	530
9	Модуль зсуву $G_{mean}^{b,c}$	440	500	560	590	630	690	720	750	810	880	940	1000
Значення щільності у кг/м³													
10	Густина ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460

Примітка. Розрахункові значення характеристичної міцності при розтягу поперек напрямку волокон $f_{t,90,k}$, характеристична міцність при дії зсуву та кручення відхиляються від розрахункових значень за EN 338:2003–09, але при розрахунку необхідно використовувати тільки значення представлені у цій таблиці.

^a Розрахункове значення кругляка підвищується на 20% при відсутності на ньому кори та лубу без ослаблення краєвої зони.

^b Характеристичне значення модуля зсуву $G_{R,k}$ всіх класів міцності може прийматися 1,0 Н/мм² при розрахунках. При напруженнях зсуву необхідно приймати значення модуля зсуву, який дорівнює $G_{R,mean} = 0.1 G_{mean}$.

^c Для характеристичного значення жорсткості $E_{0,05}$, $E_{90,05}$ та $G_{0,05}$ розрахунковими значеннями є: $E_{0,05} = 2/3 E_{0,mean}$, $E_{90,05} = 2/3 E_{90,mean}$, $G_{0,05} = 2/3 G_{mean}$.

**Характеристичні значення міцності та жорсткості (МПа), а
також щільності ($\text{кг}/\text{м}^3$) (для однорідної клеєної деревини)**

Класи міцності клеєної деревини		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Міцність при згині	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Міцність при розтягу	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Міцність при стиску	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Міцність при сколюванні	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Модулі пружності	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Модуль зсуву	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Густина	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Робоча програма навчальної дисципліни «Конструкції з деревини та пластмас», освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія», ОС «Бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» / М.В. Усенко // Навчально-методичне видання. – К. : НУБіП України, 2023. – 8 с.

2. Освітньо-професійна «Будівництво та цивільна інженерія» програма першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» / Є.А. Дмитренко, Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко / Навчально-методичне видання. – К. : Вид-во НУБіП, 2023. – 25 с.

3. Навантаження і впливи: норми проєктування : ДБН В.1.2.–2:2006. – [Чинний з 2007–01–01]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2006. – 68 с. – (Державні будівельні норми України).

4. Конструкції будівель і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6–161:2017. – [Чинний з 2018–02–01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2017. – 111 с. – (Державні будівельні норми України).

5. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд : ДБН В.1.2–14:2018. – [Чинний з 2019-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 30 с. – (Державні будівельні норми України).

6. Михайловський Д.В. Розрахунок елементів та вузлів дерев'яних конструкцій за ДБН В.2.6-161 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» : навч. посіб. / уклад. Д.В. Михайловський. – К. : ІНО КНУБА, 2018. – 115 с.

7. Лісоматеріали конструкційні. Сорткування. Вимоги до стандартів на візуальне сорткування за міцністю : ДСТУ EN 518:2003. – [Чинний з 2004-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2004. – 9 с. – (Державні будівельні норми України).

8. Настанова з проектування будівельних конструкцій з цільної і клеєної деревини : ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016. – [Чинний з 2017-04-01]. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 35 с. – (Державні будівельні норми України).

9. Пустовойтова О.М. Дерев'яні конструкції : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / уклад. О. М. Пустовойтова, А. М. Бідаков. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 111 с.

10. Настанова щодо обстеження будівель для визначення та оцінки їх технічного стану : ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. – [Чинний з 2017-04-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – (Національний стандарт України).

11. Bakulin Y.A. Engineering protection and prepatation of territories : study guide; under the editorship of cand tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.

12. Колчунов В.І. Основні результати експериментальних досліджень тріщиностійкості похилих перерізів у складених залізобетонних конструкціях при деформаційному впливі / В.І. Колчунов, І.А. Яковенко, М.В. Усенко, О.О. Приймак // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 219–228.

13. Белов І.Д. Експериментальні випробування центрально-стиснутих тонкостінних сталевих гнутих профілів з перерізами відкритого типу / І.Д. Белов, С.І. Білик, М.В. Усенко, М.М. Джаубаєв // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Вип. 16. – С. 66–72.

14. Фесенко О.А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Будівельні конструкції» для студентів за напрямом підготовки 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Розрахунок будівельних конструкцій на міцність, жорсткість та вогнестійкість / уклад. О.А. Фесенко, Є.А. Дмитренко. – К. : НУБіП України, 2020. – 78 с.

15. Дмитренко Є.А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни "Основи автоматизованого проєктування в будівництві" для студентів за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» / Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. – К. : НУБіП України, 2021. – 91 с.

16. Дмитренко Є.А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт за дисциплінами «САПР у будівництві», «Моделювання будівель та споруд сільськогосподарського призначення» підготовки фахівців ОС «Магістр» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» » / Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко. – К. : НУБіП України, 2021. – 104 с.

17. Яковенко І.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України / І.А. Яковенко, Є.А. Бакулін // 36. тез доп. Х Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України (24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2023. – С. 488–491.

18. Правила з вогнезахисту : НАПБ Б.01.012–2019. – [Чинний від 05.04.2019]. – К. : Міністерство внутрішніх справ України, 2018. – 9 с.

19. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: ДБН В.1.1–7:2016. – [Чинний з 2017–01–06]. – К. : Мінгеріонбуд України, 2016. – 41 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	6
1.1. Основні вимоги до дерев'яних конструкцій.....	6
1.2. Основні положення розрахунку за граничними станами.....	6
1.3 Граничні стани за міцністю і стійкістю конструкцій (перша група граничних станів).....	6
1.4. Граничний стан за експлуатаційною придатністю (друга група граничних станів).....	7
1.5. Вплив навантаження та навколишнього середовища.....	9
1.6. Класи навантажень за тривалістю дії.....	9
1.7. Експлуатаційні класи.....	10
1.8. Розрахункові характеристики міцності матеріалів.....	12
1.9. Розрахункові значення несучої здатності.....	14
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	16
2.1. Лабораторна робота №1.....	16
Приклад розрахунку центрально розтягнутого елемента (до лабораторної роботи №1).....	17
2.2. Лабораторна робота №2.....	19
Приклад розрахунку центрально-стиснутого елемента (до лабораторної роботи №2).....	23
2.3. Лабораторна робота №3.....	27
Приклад розрахунку дерев'яної балки, яка працює на згин (до лабораторної роботи №3).....	34
2.4. Лабораторна робота №4.....	41
Приклад розрахунку позацентрово розтягнутого дерев'яного елемента (до лабораторної роботи №4).....	43
2.5. Лабораторна робота №5.....	46

Приклад розрахунку дерев'яного елемента конструкції, який працює на стиск зі згином (<i>до лабораторної роботи №5</i>).....	49
ДОДАТКИ.....	55
Додаток 1. Терміни та визначення понять.....	55
Додаток 2. Властивості матеріалів.	
Значення для коефіцієнта перетворення k_{mod}	58
Додаток 3. Класи міцності деревини. Характеристичні значення міцності, жорсткості та щільності для хвойної деревини.....	59
Додаток 4. Характеристичні значення міцності та жорсткості, а також щільності (для однорідної клеєної деревини).....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62
ЗМІСТ.....	65