

О.О. Гомон, О.М. Суворов

Луцький національний технічний університет

## ПЕРЕДУМОВИ ДО ВРАХУВАННЯ МОДИФІКАЦІЇ ХВОЙНИХ ПОРІД ДЕРЕВИНИ В РОЗРАХУНКАХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

*Дослідження висвітлює методологію врахування впливу модифікації хвойних порід деревини при розрахунках дерев'яних конструкцій. Воно зосереджено на конструктивних елементах, включаючи балки, колони та перехресно-ламіновані панелі, де подовжня міцність значною мірою визначає несучу здатність та жорсткість. Запропоновано методологію, що дозволяє точно враховувати зміни механічної поведінки внаслідок обробки композиційними матеріалами, забезпечуючи точну оцінку міцності та покращення експлуатаційної придатності дерев'яних конструкцій. Впровадження коефіцієнтів у структурні розрахунки демонструє, що модифікація може значно підвищити експлуатаційні характеристики та термін служби дерев'яних конструкцій. Цей підхід закладає основу для включення модифікованих властивостей деревини в майбутні стандарти проектування та надає інженерам практичні інструменти для більш надійного та довговічного проектування дерев'яних конструкцій.*

*Ключові слова:* модифікована деревина, напружено-деформований стан, міцність, несуча здатність, деформівність, стиск, згин, розтяг.

О.О. Homon, O.M. Suvorov

## PREREQUISITES FOR TAKING INTO ACCOUNT MODIFICATIONS OF CONIFERS OF WOOD SPECIES IN CALCULATIONS OF TIMBER ELEMENTS AND STRUCTURES

*The study highlights the methodology for considering the impact of softwood modification in the design of timber structures. Although timber is a widely used building material due to its environmental friendliness, low weight, ease of processing, high longitudinal strength and cost-effectiveness, it has limitations such as moisture sensitivity, anisotropy and natural defects that limit its structural application. Modification of timber with various composite materials improves the physical and mechanical properties of timber, improves moisture resistance and increases durability. Such types of modifications change the behaviour of timber structures and their stress-strain state, which is not taken into account in current design standards, which highlights the need to update design approaches. The study focuses on structural elements, including beams, columns and cross-laminated panels, where longitudinal strength largely determines the load-bearing capacity and stiffness. Traditional design includes characteristic and design values of compressive, tensile, and flexural strengths, as well as elastic and shear moduli modified by reliability factors. This paper presents the possibility of using experimental data when taking into account the modification of coniferous wood species. In this case, experimental values are used to determine modification factors that correct the design resistance to bending, compression, tensile, and elastic moduli. Formulas are given to illustrate the application of these factors under uniaxial bending and combined loading conditions. A methodology is proposed that allows for accurate consideration of changes in mechanical behavior due to processing with composite materials, providing an accurate assessment of the strength and improved serviceability of wooden structures. The introduction of these factors into structural calculations demonstrates that modification can significantly improve the performance and service life of wooden structures. This approach lays the foundation for incorporating modified wood properties into future design standards and provides engineers with practical tools for more reliable and durable wood construction designs.*

*Key words:* modified wood, stress-strain state, strength, load-bearing capacity, deformation, compression, bending, tension.

**Постановка проблеми.** Використання деревини як матеріалу для будівельних конструкцій обумовлено великою кількістю переваг [1,2]. До основних переваг деревини можна віднести її екологічність, невелику вагу, легку обробку, високу міцність вздовж волокон, невеликі витрати при виготовленні та інші. Проте не зважаючи на велику кількість переваг для деревини характерні і недоліки, до яких можна віднести: чутливість до високої вологості, анізотропію, природні недоліки (сучки, косошаруватості) та інші [1,2]. Саме недоліки обмежують використання деревини як конструктивного матеріалу.

Для покращення експлуатаційних властивостей, подолання недоліків деревини, можливе застосування модифікації деревини за допомогою різних композитних матеріалів [3-10]. Саме просочування деревини дозволяє створити матеріал, який поєднує переваги природної деревини та штучного композиту, підвищуючи фізико-механічні властивості, зменшуючи вплив вологості а також підвищує довговічність деревини. При цьому вплив модифікації змінюючи фізико-механічні властивості деревини, змінює напружено-деформований стан конструкцій [4]. Врахування такої зміни в сучасних нормативних документах відсутня [11,12], тому одною із задач нашого дослідження стало створити передумови для врахування в розрахунках дерев'яних конструкцій модифікації деревини хвойних порід різними композиційними матеріалами.

© О.О. Гомон, О.М. Суворов

**Аналіз останніх досліджень.** В сучасному будівництві деревину зазвичай використовують у вигляді довгих стержнів (балки, колони) або (перехресно-клеєні панелі, панелі з використанням фанери), при цьому орієнтація деревини виконуються вздовж волокон, це дозволяє сприймати більші навантаження. Саме міцність деревини вздовж волокон є визначальною характеристикою несучої здатності та жорсткості будівельних конструкцій. Тому в нормативній літературі [11-13] можна знайти такі характеристики деревини, які використовуються в проектуванні:

$f_{c,0,d}$ ,  $f_{m,k}$  - розрахункове та характеристичне значення міцності при стиску вздовж волокон;

$f_{c,90,k}$  - характеристичне значення міцності при стиску поперек волокон;

$f_{m,d}$  - розрахункове значення міцності при згині;

$f_{t,0,d}$ ,  $f_{t,0,k}$  - розрахункове та характеристичне значення міцності при розтягу вздовж волокон;

$f_{t,90,d}$  - розрахункове значення міцності при розтягу поперек волокон;

$E_d$ ,  $E_{mean}$  - розрахункове та середнє значення модуля пружності;

$G_d$ ,  $G_{mean}$  - розрахункове та середнє значення модуля зсуву.

Якщо зобразити можливе виникнення навантаження та опір, який необхідний для запобігання руйнування, його можна зобразити у вигляді двох сукупностей (рис. 1). Незважаючи на присутність міцнісних лімітів на згин, розтяг та стиск в розрахунок вводять ряд коефіцієнтів, які залежать від умов експлуатації та тривалості навантаження. Такими коефіцієнтами є [11-13]:  $k_{mod}$  - коефіцієнт, який вводить для розрахункових опорів, що служить врахуванню тривалості дії навантаження, а також при яких умовах експлуатується конструкція;  $k_{def}$  - коефіцієнт деформативності, який враховує реологічні властивості деревини, а саме повзучість. Роботу коефіцієнтів надійності можна зобразити у вигляді схеми (рис. 2).

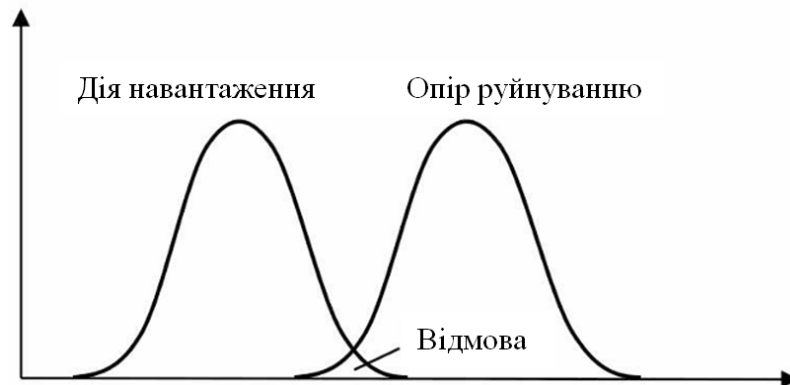


Рис. 1. Розподіл дії навантаження та опору руйнування

Саме використанням великої кількості коефіцієнтів (рис. 2) обумовлює пружну частину роботи деревини, це пояснюється невеликими рівнями навантаження при яких використовується деревина.

**Постановка завдання.** Метою наших досліджень є розробка методики врахування в розрахунках дерев'яних конструкцій модифікації деревини хвойних порід різними композиційними матеріалами, за допомогою отриманих нових фізико-механічних характеристик.

**Виклад основного матеріалу.** З досліджень встановлено, що модифікація збільшує модуль пружності деревини вздовж волокон, а також збільшує опір деревини стискаючим напруженням. Тоді вплив модифікації можна розглянути, як співвідношення отриманих модулів пружності деревини формула (1)

$$\gamma_{mod,E} = E_{mean,mod} / E_{mean} \quad (1)$$

де  $E_{mean}$  - середнє значення модуля пружності деревини вздовж волокон;

$E_{mean,mod}$  - середнє значення модуля пружності вздовж волокон модифікованої деревини.

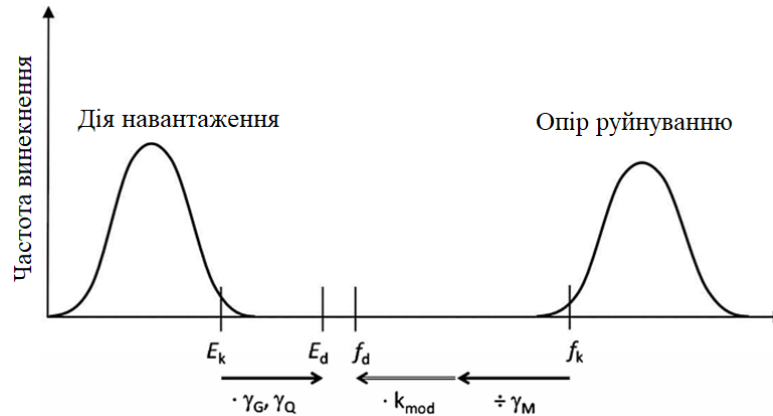


Рис. 2. Схематичне зображення запобігання руйнування конструкцій ( $\gamma_M, \gamma_G, \gamma_Q$  - коефіцієнти надійності)

Так само як і для модуля пружності можна встановити вплив на міцність деревини при стиску. Коефіцієнт врахування  $\gamma_{mod,f}$  впливу на розрахунковий опір при стиску можна визначити за формулою (2)

$$\gamma_{mod,f} = f_{k,mod}/f_k \quad (2)$$

З врахуванням того, що співвідношення розрахункових опорів можна визначити згідно [13], за формулою (3), то можливо стверджувати, що при такому співвідношенні коефіцієнт впливу на модифіковану деревину  $\gamma_{mod,f}$  можна використовувати, як для розрахункового опору згину, так і розтягу

$$f_{t,0,k} = 0,6f_{m,k} \quad (3)$$

Так, врахування модифікації при розрахунках можливо шляхом використання коефіцієнтів  $\gamma_{mod,f}$  та  $\gamma_{mod,E}$ .

#### Приклад використання коефіцієнтів модифікації

Розглянемо спосіб застосування коефіцієнтів при розрахунку згинальних конструкцій. Так для визначення несучої здатності згинальних елементів використовується формула (4) для одноосового згину

$$\sigma_z = \frac{M_y \cdot z}{I_z} \quad (4)$$

де  $\sigma_z$  - напруження при дії згинального моменту  $M_y$  ;

$I_z$  - момент інерції відносно осі z.

Умовою ж запобігання руйнування є формула (5), яка вказує що перевищення напружень більше дозволених розрахункових, може спричинити руйнування конструкції

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (5)$$

Врахування модифікації деревини враховується шляхом введення в розрахунковий опір коефіцієнта, що враховує модифікацію (6)

$$f_{m,d} = K_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \gamma_{mod,f} \quad (6)$$

При комбінації на сприйняття зусиль на згин з стиском та на згин з розтягом застосовують рівняння відповідно рівняння (7), (8) та (9), (10)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (8)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (9)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10)$$

Як для простого згину врахування модифікації епоксидною смолою буде проводитись у формулах (11), (12) та (13), (14):

$$f_{t,0,d} = K_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \gamma_{mod,f} \quad (11)$$

$$f_{c,0,d} = K_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \gamma_{mod,f} \quad (12)$$

$$f_{m,y,d} = K_{mod} \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_m} \gamma_{mod,f} \quad (13)$$

$$f_{m,z,d} = K_{mod} \frac{f_{m,z,k}}{\gamma_m} \gamma_{mod,f} \quad (14)$$

З врахуванням вище згаданої інформації застосування коефіцієнтів  $\gamma_{mod,f}$  та  $\gamma_{mod,E}$  є можливим під час розрахунку та проектування конструкцій з деревини.

#### Висновки

1. Встановлено, що модифікована деревина є сучасним матеріалом, який має покращені фізико-механічні властивості, підвищену вологостійкість та довговічність.

2. Проаналізовані літературні джерела показали, що врахування модифікації деревини можна виконати при встановленні розрахункових опорів деревини. При цьому врахування модифікації буде враховуватись за допомогою двох коефіцієнтів модифікації  $\gamma_{mod,f}$  та  $\gamma_{mod,E}$ .

3. В роботі наведені способи застосування коефіцієнтів модифікації при розрахунку конструкцій, які працюють на стиск та згин. Встановлено, що при застосування коефіцієнтів можна врахувати вплив модифікації деревини хвойних порід при розрахунку таких конструкцій.

#### Список використаних джерел

1. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинознавство: навчальний посібник. Львів: Априорі, 2007. 312 с.
2. Гомон О.О., Чапюк О.С., Савчук С.М. Використання клеєної деревини у промисловості. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2024. Вип. 22, С. 15–22.
3. Довбенко Т.О., Петренко О.В., Чапюк О.С., Гомон О.О. Аналіз способів модифікування деревини. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. Рівне, 2024. Вип. 4(108). С. 12-20.
4. Гомон О.О. Моделювання роботи дерев'яних балок модифікованих епоксидною смолою після впливу одноразових та малоциклових навантажень методом скінченних елементів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2025. Vol 4 (4). P. 56–68.
5. Kysliuk D.Y., Homon O., Chapiuk O., Talakh L., Skrupnyk M., Polishchuk-Herasymchuk T., Sokil P., Kulakovskiy L., 2026. Mechanical characteristics of epoxy-modified wood: an experimental study. *Procedia Structural Integrity* 81, 430-433.
6. Матвіюк О.В. Покращення механічних властивостей конструкційної деревини за експлуатації в агресивних середовищах: дис. ...к.т.н. 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 165 с.
7. Цапко Ю.В., Ліхнівський Р.В. Дослідження структури модифікованої деревини. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка*. Київ, 2013. Вип. 49. С. 170–174.
8. Горбачова О.Ю., Пінчевська О.О. Термічне модифікування деревини граба: монографія. Київ, 2017.
9. Довбенко Т.О., Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Павлюк А.П. Модифікація деревини екологічно чистими матеріалами. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2023. Випуск 1 (101). С. 134-142.
10. Бехта П.А., Салабай Р.Г. Класифікація деревинних композиційних матеріалів. *Наукові праці лісівничої академії наук України*. Львів: НЛТУ, 2002. Вип. 1. С. 114-117.
11. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Укрархбудінформ, 2017. 111 с.
12. Eurocode 5. (2004). Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 124 p.
13. ДСТУ EN 384:2022. Конструкційний лісоматеріал. Визначення характеристичних значень механічних властивостей та щільності. К.: Мінрегіон України, 2023.