

О.С. Чапюк^[0000-0003-0283-1863], О.М. Кратюк^[0009-0007-8265-9544]

Луцький національний технічний університет

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМІВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНОЇ КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ ЗА РІЗНОЇ ВОЛОГОСТІ В ДОКРИТИЧНІЙ ТА ЗАКРИТИЧНІЙ СТАДІЯХ РОБОТИ: ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА СТАДІЯ

Проведено експериментальні дослідження конструкційної клеєної деревини сосни та ялини різної вологості після занурення у річковому та морському водних середовищах осьовим стиском вздовж волокон за жорсткого режиму випробувань. Експериментальним шляхом встановлено основні механічні характеристики клеєної деревини сосни та ялини в докритичній та закритичній стадіях роботи, в тому числі тимчасову граничну міцність деревини, модуль пружності, відносні критичні, граничні та залишкові деформації, за таких умов експлуатації. Запропоновано формули для визначення відносних граничних деформацій конструкційної клеєної деревини за різної вологості. Встановлено основні деформівні характеристики клеєної деревини сосни та ялини, як у річковому водному середовищі, так і морському, відносні критичні, граничні та залишкові деформації. За вологості 21% та 30% збільшуються в порівнянні з характеристиками, визначеними за стандартної вологості 12%.

Ключові слова: клеєна деревина, напружено-деформований стан, міцність, деформівність, стиск, навантаження.

O.S. Chapiuk, O.M. Kratiuk

TO DETERMINATION OF DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GLUE-LAILED PINE AND SPRUCE WOOD AT DIFFERENT HUMIDITIES IN THE PRECRITICAL AND POSTCRITICAL STAGES OF WORK: EXPERIMENTAL STAGE

Solid and glued wood is often operated in environments with different humidity levels. Current regulatory documents limit such operation to the K_{mod} coefficient. In some cases, it is unclear how to determine certain mechanical characteristics with increased moisture content, including deformable ones. For example, the operation of elements in bridge structures, hydraulic structures, sea piers, shore protection structures, and others. Very often, materials, elements, and structures based on wood operate in a post-critical stage of operation (seismic vibrations, dynamic loads, progressive destruction, floods, changes in water levels, and others).

The purpose of our research is to conduct experimental studies of structural glued laminated wood of pine and spruce with different moisture content under a strict regime of axial compression tests along the fibers during operation in river and marine aquatic environments. As well as to establish the main deformation parameters in the pre-critical and post-critical stages of operation under such operating conditions.

Experimental studies of structural glued pine and spruce wood of different humidity after immersion in river and sea water environments by axial compression along the fibers under a rigid test regime were carried out. The main mechanical characteristics of glued pine and spruce wood in the pre-critical and post-critical stages of operation were experimentally established, including the temporary ultimate strength of wood, the modulus of elasticity, relative critical, limiting and residual deformations, under such operating conditions. Formulas were proposed for determining the relative limiting deformations of structural glued wood at different humidity. The main deformation characteristics of glued pine and spruce wood, both in river and sea water environments, relative critical, limiting and residual deformations were established. At humidity levels of 21% and 30%, they increase in comparison with the characteristics determined at a standard humidity of 12%.

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

Постановка проблеми. Деревина вже сотні років залишається одним з найпопулярніших матеріалів в різних сферах життя [1-6]. Вона має своєрідні неповторні фізико-механічні властивості. В залежності від породи деревини, її твердості та інших властивостей залежить її безпосереднє призначення. В більшості випадків при зведенні будівель та споруд різного призначення в якості несучих дерев'яних елементів та конструкцій використовують хвойні породи: сосна, ялина, модрина, смерека, ялиця, тис та інші. Хоча звичайно є і винятки. Дуже часто використовують цільну або клеєну деревину. Клеєна має певні переваги над цільною і може застосовуватися для перекриття більших прольотів [7,8].

Звичайно деревина, як інші матеріали, має свої переваги та недоліки. Основними перевагами є відносно невелика вага, достатня міцність та модуль пружності, легко з'єднується між собою та з іншими матеріалами [1-9]. Часто може експлуатуватися в агресивних середовищах, в тому числі і водних (прісних і солоних) [10-17].

Аналіз останніх досліджень. Цільна та клеєна досить часто експлуатується в середовищах з різним показником вологості [10-17]. Діючі нормативні документи обмежують таку експлуатацію

© О.С. Чапюк, О.М. Кратюк

коефіцієнтом K_{mod} [18,19,29]. В окремих випадках незрозуміло як саме необхідно визначати певні механічні характеристики з підвищеним вмістом вологи, в тому числі і деформівних. Наприклад, робота елементів у складі мостових конструкцій, гідротехнічних споруд, морських пірсів, берегоукріплюючих споруд та інших. Дуже часто матеріали, елементи та конструкції на основі деревини працюють в закритичній стадії роботи (сейсмічні коливання, динамічні навантаження, прогресуюче руйнування, паводки, зміна рівня води та інші).

Експериментальні дослідження та запропоновані методики з визначення основних механічних характеристик в закритичній стадії роботи з різним показником вологості за осьового стиску вздовж волокон, в тому числі деформівних, що стосуються цільної деревини знаходимо в роботах Гомона Св.Св. [20-23] та його учнів – Верешка О.В. [24], Матвіюка О.В. [25,26], Рощука М.М. [27]. Автори досить достеменно вивчили поведінку роботи цільної деревини листяних та хвойних порід за таких умов експлуатації, побудували повні діаграми деформування за жорсткого режиму, експериментальним та теоретичним шляхом встановили основні механічні показники: тимчасову граничну міцність, відносні критичні, граничні та залишкові деформації, модуль пружності та січний модуль деформацій.

Експериментальні дослідження конструкційної клеєної деревини стандартної вологості 12% за жорсткого режиму навантажень осьовим стиском вздовж волокон знаходимо тільки в наукових працях Гомона Св.Св. [28].

В світовій практиці фактично відсутні експериментальні та теоретичні дослідження, що стосуються змінного впливу вологості на механічні характеристики конструкційної клеєної деревини сосни та ялини в докритичній та закритичній стадії роботи матеріалу на стиск вздовж волокон. А як наслідок відсутні повні діаграми деформування за таких умов експлуатації, а також основні показники міцності та деформівності: тимчасова гранична міцність, відносні критичні, граничні та залишкові деформації, модуль пружності та січний модуль деформацій.

Постановка завдання. Метою наших досліджень є проведення експериментальних досліджень конструкційної клеєної деревини сосни та ялини з різним показником вологості за жорсткого режиму випробувань осьовим стиском вздовж волокон за експлуатації у річкових та морських водних середовищах. А також встановлення основних деформівних показників в докритичній та закритичній стадіях роботи за таких умов експлуатації.

Методи експериментальних досліджень. Для реалізації поставлених завдань було виготовлено призматичні зразки (30×30×120 мм) із конструкційної клеєної деревини першого сорту сосни та ялини.

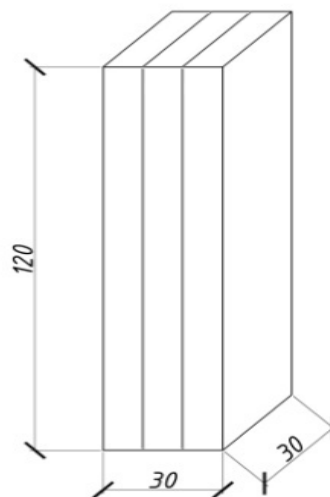


Рис.1. Розміри призматичних дослідних зразків

Вихідну сировину відбирали за критеріями прямолінійності стовбура та низької сучкуватості відповідно до [30-35], що дозволило забезпечити однорідність структури та орієнтацію волокон. Після заготівлі деревину транспортували на виробництво, де її розпилювали на бруси, маркували та висушували до нормативної вологості. Надалі бруси розкроювали на дошки розміром 10×40 мм і довжиною 100 см. Склеювання по пласту виконували із застосуванням резорцинового клею у

заводських умовах. Пресування тривало 12 годин із подальшою витримкою 48 годин до повного твердіння. Умови склеювання: температура 20 °С, відносна вологість 65±5 %. Зразки для випробувань вирізали з однієї балки окремо для кожної породи деревини.

Під час випробувань використовували конструкційну клеєну деревину з вологістю 12%, 21% та 30%. Призматичні зразки деревини стандартної вологості 12 % занурювали відповідно у річкове та морське водні середовища в лабораторних умовах до усередненої вологості 21 ± 1 % та 30 ± 1 %. Річкова вода бралася з річки Стир (м. Луцьк), а морська – з Чорного моря (м. Одеса).

Обсяг експериментальних досліджень конструкційної клеєної деревини різної вологості наведено в табл. 1.

Табл. 1

Обсяг експериментальних досліджень конструкційної клеєної деревини різної вологості

№	Порода деревини	Переріз зразків, мм	Вологість, %	Вік деревини, років	Тип клею	Кількість зразків, шт.
Річкове водне середовище						
1	Сосна	30x30x120	12, 21, 30	50-75	резорциновий	15
2	Ялина	30x30x120	12, 21, 30	50-75	резорциновий	15
Морське водне середовище						
3	Сосна	30x30x120	12, 21, 30	50-75	резорциновий	15
4	Ялина	30x30x120	12, 21, 30	50-75	резорциновий	15

Загальна кількість зразків клеєної деревини всіх досліджуваних порід, що підлягали випробуванню, становила 54 одиниці. Експериментальні дослідження в умовах жорсткого режиму навантаження проводили на випробувальній машині СТМ-100 [28,35] зі швидкістю деформування 1,5 мм/хв.

Результати проведених експериментів. На підставі виконаних експериментальних досліджень були встановлені основні механічні характеристики конструкційної клеєної деревини за вологості 12%, 21%, 30%, що експлуатувалися в річковому та морському водних середовищах, за осевого стиску вздовж волокон в докритичній та закритичній стадіях роботи (табл. 1).

Табл. 1

До визначення деформівних характеристик конструкційної клеєної деревини за різної вологості в докритичній та закритичній стадіях роботи

W, %	$f_{c,0,d}$, МПа	E, МПа	u_{c1} , мм/мм	$u_{c,0,d}$, мм/мм	$u_{c,u}$, мм/мм	$u_{c,fin}$, мм/мм
Річкове водне середовище						
Сосна						
12	49,8	13900	0,00067	0,00506	0,00698	0,3401
21	34,6	11200	0,00071	0,00557	0,00791	0,3775
30	22,8	10100	0,00078	0,00621	0,00838	0,4217
Ялина						
12	46,1	15300	0,00060	0,00457	0,00640	0,3119
21	31,7	12700	0,00063	0,00530	0,00726	0,3369
30	21,3	11600	0,00069	0,00571	0,00822	0,3712
Морське водне середовище						
Сосна						
12	49,8	13900	0,00067	0,00506	0,00698	0,3401
21	32,7	11000	0,00071	0,00570	0,00827	0,3819
30	22,0	9900	0,00079	0,00635	0,00940	0,4353
Ялина						
12	46,1	15300	0,00060	0,00457	0,00640	0,3119
21	29,9	12600	0,00065	0,00536	0,00766	0,3457
30	20,8	11200	0,00072	0,00579	0,00805	0,3872

Згідно табл.1 було встановлено, що основні механічні показники конструкційної клеєної деревини з підвищенням вологості погіршуються, як у річковому водному середовищі, так і морському. Зокрема, деформівні характеристики клеєної деревини сосни та ялини за вологості 21% та 30% збільшуються в порівнянні з характеристиками, визначеними за стандартної вологості 12%.

Отже, в річковому водному середовищі відносні критичні деформації деревини сосни за вологості 30% зросли в 1,23 рази, а деревини ялини – в 1,25 рази; відносні граничні деформації для деревини сосни збільшились в 1,20 рази, а для деревини ялини – в 1,28 рази; відносні залишкові деформації для деревини сосни зросли в 1,24 рази, а для деревини ялини – в 1,19 рази.

Таким чином, в морському водному середовищі відносні критичні деформації деревини сосни за вологості 30% зросли в 1,25 рази, а деревини ялини – в 1,26 рази; відносні граничні деформації для деревини сосни збільшились в 1,35 рази, а для деревини ялини – в 1,26 рази; відносні залишкові деформації для деревини сосни зросли в 1,28 рази, а для деревини ялини – в 1,24 рази.

За методикою запропонованою Гомоном Св.Св. в науковій праці [30] наведемо формули для визначення відносних граничних деформацій конструкційної клеєної деревини різної вологості в залежності від критичних.

Зокрема, для річкового водного середовища:

- для деревини сосни 12 % запропоновано в роботі [30]

$$u_{c,u} = 1,38 \cdot u_{c,0,d}; \quad (1)$$

- для деревини сосни 21 %

$$u_{c,u} = 1,42 \cdot u_{c,0,d}; \quad (2)$$

- для деревини сосни 30 %

$$u_{c,u} = 1,35 \cdot u_{c,0,d}; \quad (3)$$

- для деревини ялини 12 % запропоновано в роботі [30]

$$u_{c,u} = 1,40 \cdot u_{c,0,d}; \quad (4)$$

- для деревини ялини 21 %

$$u_{c,u} = 1,37 \cdot u_{c,0,d}; \quad (5)$$

- для деревини ялини 30 %

$$u_{c,u} = 1,44 \cdot u_{c,0,d}. \quad (6)$$

Зокрема, для морського водного середовища:

- для деревини сосни 21 %

$$u_{c,u} = 1,45 \cdot u_{c,0,d}; \quad (7)$$

- для деревини сосни 30 %

$$u_{c,u} = 1,48 \cdot u_{c,0,d}; \quad (8)$$

- для деревини ялини 21 %

$$u_{c,u} = 1,43 \cdot u_{c,0,d}; \quad (9)$$

-

- для деревини ялини 30 %

$$u_{c,u} = 1,39 \cdot u_{c,0,d}. \quad (10)$$

Висновки

1. Вперше проведено експериментальні дослідження конструкційної клеєної деревини сосни та ялини різної вологості після занурення у річковому та морському водних середовищах осьовим стиском вздовж волокон за жорсткого режиму випробувань.
2. Експериментальним шляхом встановлено основні механічні характеристики клеєної деревини сосни та ялини в докритичній та закритичній стадіях роботи, в тому числі тимчасову граничну міцність деревини, модуль пружності, відносні критичні, граничні та залишкові деформації, за таких умов експлуатації.
3. Запропоновано формули для визначення відносних граничних деформацій конструкційної клеєної деревини за різної вологості.

4. Встановлено основні деформівні характеристики клеєної деревини сосни та ялини, як у річковому водному середовищі, так і морському, відносні критичні, граничні та залишкові деформації. За вологості 21% та 30% збільшуються в порівнянні з характеристиками, визначеними за стандартної вологості 12%.

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. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-04)
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. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250404.05>
5. Kysliuk D.Y., Homon O., Chapiuk O., Talakh L., Skrypnyk M., Polishchuk-Herasymchuk T., Sokil P., Kulakovskiy L., 2026. Mechanical characteristics of epoxy-modified wood: an experimental study. *Procedia Structural Integrity* 81, 430-433. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2026.03.074>
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.

Дата надходження статті до видання: 11.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата оприлюднення 14.04.2026