



Поліщук-Герасимчук Т. О. [1; ORCID ID: 0000-0001-7103-9656],

к.т.н., доцент,

Чапюк О. С. [2; ORCID ID: 0000-0003-0283-1863],

к.т.н., доцент,

Гомон О. О. [2; ORCID ID: 0009-0009-6488-8073],

старший лаборант,

Масюк З. О. [3; ORCID ID: 0009-0006-3048-8969],

викладач спеціальних дисциплін

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Луцький національний технічний університет

³Вище професійне училище № 1, м. Рівне

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОДИФІКОВАНИХ ЕПОКСИДНОЮ СМОЛОЮ ПІСЛЯ ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

У статті розглянуто результати експериментальних досліджень роботи балок з модифікованої епоксидною смолою деревини ялини та сосни за дії однократного короткочасного та малоциклового навантаження. Встановлено, що малоциклове навантаження призводить до зростання відносних деформацій у стиснутій та розтягнутій зонах на 5–15% та зниження несучої здатності на 16–20% у порівнянні з одноразовим навантаженням. Отримані результати можуть бути використані для подальшої розробки нормативної бази з проєктування конструкцій з модифікованої деревини.

Ключові слова: згинальний елемент; деревина; малоциклові навантаження; модифікація; несуча здатність; напружено-деформований стан.

Вступ. Модифікована деревина – це ефективний будівельний матеріал, який використовується проєктувальниками в будівельних конструкціях. Як відомо, модифікація деревини покращує довговічність і фізико-механічні характеристики, дозволяє підвищити міцність, жорсткість конструкції та зменшити витрату матеріалу.

Використання модифікованої деревини можна використати при виготовленні балок перекриття та покриття. Також такий матеріал може використовуватись при експлуатації у приміщеннях з підвищеною вологістю або назовні. До переваг модифікованих

епоксидною смолою балок можна віднести зменшену деформативність, стійкість до гниття та грибків, частково підвищену міцність. Проте, наявні і недоліки модифікованої деревини, це збільшення вартості за рахунок виробництва та необхідність перевірки на вогнестійкість.

Використання модифікованої деревини епоксидними рідкими смолами є мало дослідженою, відсутні норми проектування конструкцій з цього матеріалу. Для створення норм проектування та дослідження модифікованої деревини епоксидною смолою в якості конструктивного матеріалу було прийнято рішення проведення серії експериментальних досліджень із випробування балок з цього матеріалу. Проведення таких досліджень може підтвердити актуальність модифікації деревини та ефективність її використання для конструкційних елементів, дозволить зробити новий крок в сторону сертифікації.

Аналіз останніх публікацій. Дерев'яні елементи та конструкції часто зазнають впливу малоциклових навантажень [1–3]. Такого впливу можуть зазнавати згинальні, стиснуті та розтягнуті елементи. Зокрема, балки, колони, арки, ферми, крокв'яні системи, оболонки. Нас в основному будуть цікавити згинальні елементи, тобто балки прямокутного перерізу.

Досліджень, що стосується повторних малоциклових навантажень, в світовій практиці є обмежена кількість. В Україні експериментально-теоретичними дослідженнями впливу малоциклових навантажень на елементи та конструкції на основі деревини сосни займалися Алексієвець В.І. [1], Сасовський Т.А. [2], Павлюк А.П. [3]. Зокрема, Сасовський Т.А. випробовував та аналізував роботу необроблених дерев'яних балок прямокутного цільного перерізу після дії малоциклових повторних навантажень. Автор встановив вплив таких навантажень на несучу здатність та деформативність досліджуваних зразків.

В світовій практиці відсутні експериментально-теоретичні та числові дослідження впливу малоциклових повторних навантажень на згинальні елементи просочені епоксидною смолою.

Є багато різних способів модифікації деревини, які залежать від кінцевої мети її обробки. Дослідженням процесу модифікації деревини та безпосереднього впливу на її фізико-механічні властивості займалися та продовжують займатися величезна кількість вітчизняних та закордонних вчених [4–8]. Нас будуть в



основному цікавити наукові праці, що стосуються поліпшенню механічних властивостей деревини.

В попередніх наших роботах [9–15] ми аналізували наявні способи модифікації деревини та проведені нами експериментальні дослідження впливу малоциклових навантажень на деревину ялини, сосни та модрина цільного перерізу модифіковану епоксидною смолою, а також клеєної деревини сосни. Було встановлено, що модифікація деревини епоксидною смолою значно підвищує її міцність та зменшує деформативність. Вплив повторних навантажень дещо знижує міцнісні показники як модифікованої, так і необробленої деревини різних порід.

Метою статті є аналіз проведених нами натурних випробувань дерев'яних балок прямокутного цільного перерізу з деревини сосни та ялини просочених епоксидною смолою автоклавним способом після дії малоциклових навантажень.

Основна частина. Для аналізу впливу модифікації деревини було проведено серію випробувань. Були проведені натурні експериментальні дослідження з модифікацією за дії однократного короткочасного навантаження БЯ2о (балка з модифікованої ялини), БС2о (балка з модифікованої сосни) та за малоциклового навантаження БЯ3м (модифікована ялина) і БС3м (модифікована сосна).

За дії малоциклового навантаження, що показано на рис. 1, було випробувано дві балки, деревина яких зазнавала модифікації епоксидною смолою (БЯ3м, БС3м). Як і у випадку при однократному навантаженні, визначались відносні деформації на гранях балки в зоні чистого згину. Крок прикладання навантаження приблизно дорівнював половині максимальної міцності балки і склав 1 кН , за попередньою розрахунком нижній рівень малоциклового навантаження приймався $0,2$, що склав 3 кН та верхній рівень 10 кН . Ці рівні завантаження було обрано для балок з ялини (БЯ3м) та сосни (БС3м), тому, що несуча здатність обох балок лежала в одних межах і перевищення складало не більше $1,8\text{ кН}$.

Графіки відносних деформацій отримані за допомогою тензOMETричних датчиків, які були приклеєні на верхній та нижній гранях, вони зображені на рис. 2 (для балки з модифікованої ялини БЯ3м) та рис. 3 (для балки з модифікованої сосни БС3м).

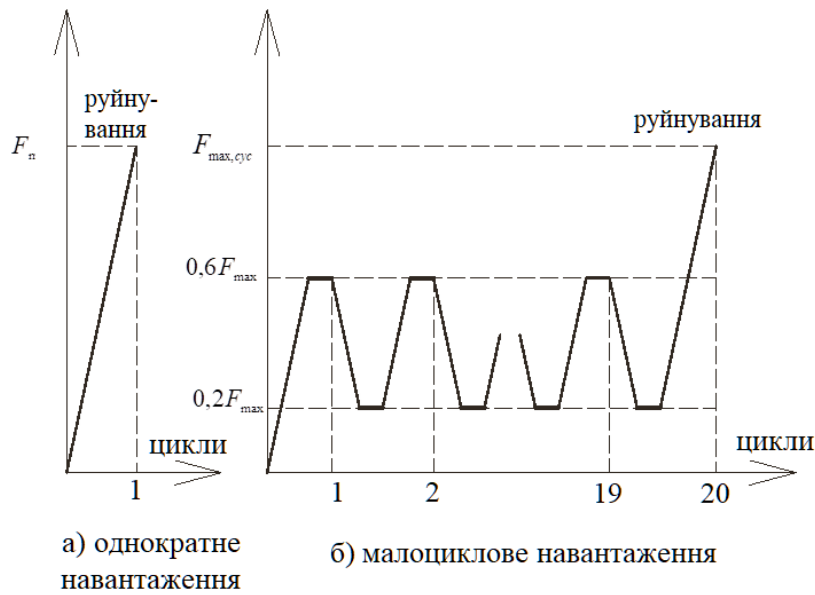


Рис. 1. Схематичне зображення режимів завантаження при:
а) однократному короточасному навантаженні; б) малоцикловому навантаженні

Були визначені відносні деформації на нижніх та верхніх рівнях малоциклового навантаження, найбільший приріст відносних деформацій спостерігався після першого циклу. Для стиснутої зони приріст на першому циклі складав 26–29%, для розтягу 31–36%, згідно з тензOMETричними датчиками. Стабілізація відносних деформацій наставала після 15 циклу. Зміна деформацій для верхньої межі малоциклового навантаження 10 кН наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Зміна відносних деформацій на верхньому циклі малоциклового навантаження

	Приріст відносних деформацій 10^{-3}									
	Цикли	1	2	3	4	5	7	10	15	20
Балка БЯЗм	Стиск	2,25	2,65	2,98	3,19	3,39	3,47	3,59	3,62	3,62
	приріст, %	-	29,4	23,6	15,9	14,5	5,8	8,9	1,9	0,0
	Розтяг	2,70	3,12	3,42	3,55	3,68	3,75	3,78	3,87	3,87
	приріст, %	-	36,0	25,4	11,4	10,9	6,4	2,3	7,6	0,0
Балка БЯЗм	Стиск	2,54	2,85	3,13	3,30	3,44	3,55	3,61	3,67	3,69
	приріст, %	-	26,5	24,6	14,7	12,4	9,1	5,5	5,4	1,7
	Розтяг	2,96	3,26	3,56	3,73	3,81	3,89	3,94	3,95	3,95
	приріст, %	-	31,0	29,7	16,6	8,5	8,1	5,1	1,1	0,0

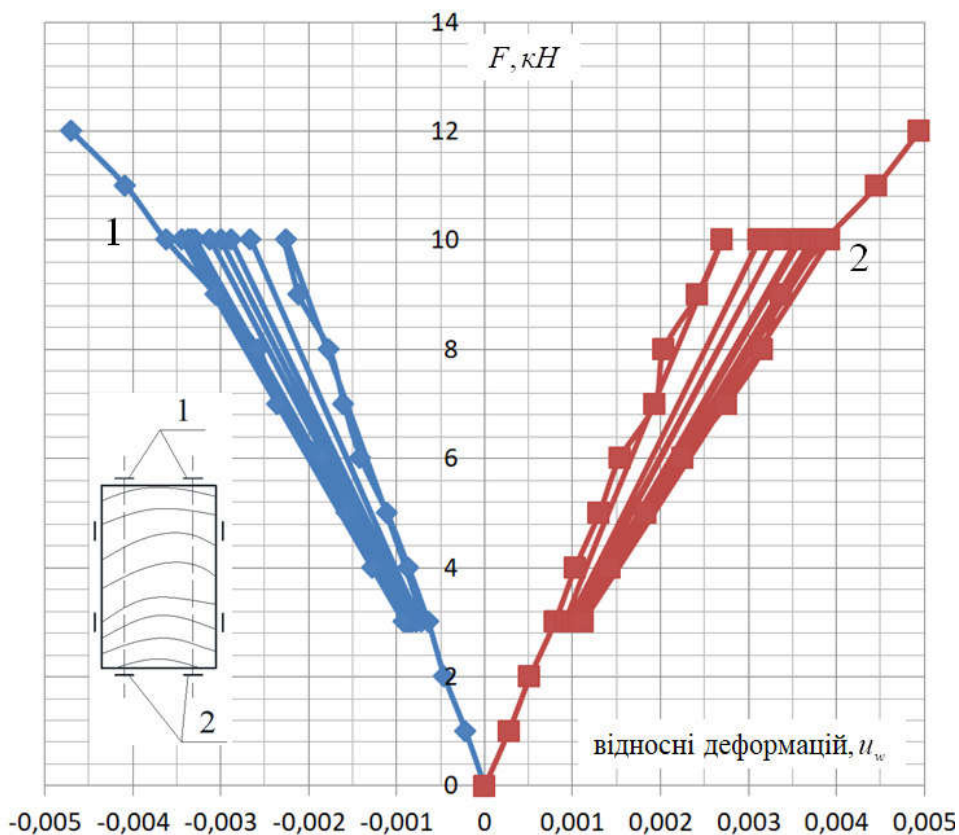


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень відносних деформацій балки з модифікованої ялини (БЯЗм) при малоцикловому завантаженні: 1) стиску на верхній грані балки; 2) розтягу на нижній грані балки

Згідно з табл. 1 приріст деформацій при верхньому рівні завантаження для балки БЯЗМ склав 0,000115, що становить 22,8% від максимального значення деформацій. Загальний приріст деформацій для балки БСЗм склав 0,000998, ще є 17,1%. Це підтверджує суттєвий вплив малоциклового навантаження на балки з модифікацією епоксидною смолою. Було проведено порівняння відносних деформацій отриманих за однократного короточасного навантаження та малоциклового навантаження. Згідно з результатами малоциклове навантаження негативно впливає на несучу здатність балок модифікованих епоксидною смолою зменшуючи її на 16–20%, водночас збільшує відносні деформації розтягу та тиску волокон на 5–15%. Результати порівняння наведено в таблиці 2.

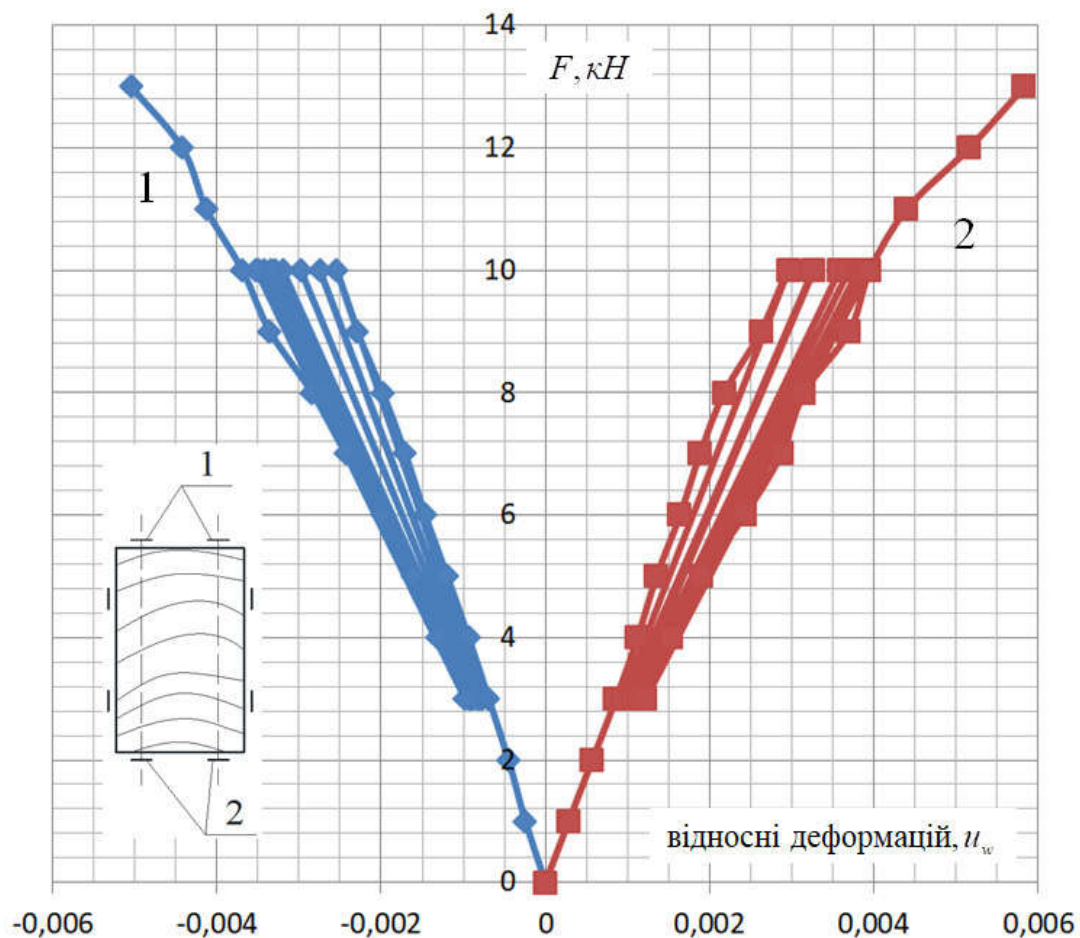


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень відносних деформацій балки з модифікованої сосни (БСЗм) при малоцикловому завантаженні:
1) стиску на верхній грані балки; 2) розтягу на нижній грані балки

Таблиця 2

Вплив модифікації на дерев'яні балки ялини та сосни

	Руйнівне навантаження, kH	Середні відносні деформації перед руйнуванням			
		Верхня грань, стиск	Нижня грань, розтяг	Бічна грань, стиск	Бічна грань, розтяг
Балка БЯ2о	16,2	0,0045	0,0046	0,0022	0,0022
Балка БЯЗм	13,6	0,0047	0,0049	0,0024	0,0024
Зміна, %	-16,0	4,4	6,5	9,1	9,1
Балка БС2о	17,8	0,0044	0,0049	0,0021	0,0026
Балка БСЗм	14,1	0,0051	0,0058	0,0024	0,0030
Зміна, %	-20,8	15,9	18,4	14,3	15,4



Висновки. Модифікація деревини епоксидною смолою покращує її експлуатаційні властивості – зменшує деформативність, підвищує стійкість до гниття та грибкових уражень, що робить матеріал перспективним для застосування у будівельних конструкціях.

Проведені випробування показали, що малоциклове навантаження спричиняє зростання відносних деформацій у стиснутій та розтягнутій зонах балки, найбільший приріст яких спостерігається після перших циклів завантаження.

Несуча здатність балок з модифікованої деревини під дією малоциклових навантажень зменшується на 16–20% у порівнянні з однократним навантаженням, що свідчить про суттєвий вплив циклічності на роботу конструкцій.

Результати досліджень підтверджують актуальність подальшого вивчення фізико-механічних особливостей поведінки модифікованої деревини та необхідність розробки нормативних документів для її застосування у будівництві.

1. Алексієвець В. І. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Рівне : НУВГП, 2011. 21 с.
2. Сасовський Т. А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Рівне : НУВГП, 2018. 200 с.
3. Павлюк А. П. Напружено-деформований стан елементів з клеєної деревини в умовах косоного згину : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Рівне : НУВГП, 2019. 200 с.
4. Cox T. R. Wood: A History. Cambridge, UK: Polity Press, 2012. 399 p.
5. Hoadley R. B. Chemical and Physical Properties of Wood. In *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings. Part 1: Wood Science and Technology*. Getty Publications : Los Angeles, CA, USA, 1998. Pp. 2–20.
6. Kim J. K., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, 2010.
7. Hao J., Wu X.; Oporto G., Liu W., Wang J. Structural Analysis and Strength-to-Weight Optimization of Wood-Based Sandwich Composite with Honeycomb Core under Three-Point Flexural Test. *Eur. J. Wood Prod.* 2020. Vol. 78. Pp. 1195–1207.
8. Bekhta P., Krystofiak T. Performance and modification of wood and wood-based materials. *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 963.
9. 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.
10. Гомон О. О., Чапюк О. С., Савчук С. М. Особливості застосування клеєної деревини. *Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва* : зб. тез доповідей II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів, 6 листопада 2024 року, м. Луцьк. Луцьк : ЛНТУ, 2024. С. 26–27.
11. 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*. 2024. Вип. 4(108). С. 12–20.
12. Гомон О. О. Поверхневі та глибинні способи модифікування деревини. *Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування* : матеріали X Міжнародної

науково-практичної конференції (27–30 травня 2025 року, м. Луцьк). Луцьк : ЛНТУ, 2025. С. 66. **13.** Чапюк О. С., Гомон О. О., Петренко О. В. Особливості роботи модифікованої епоксидною смолою деревини хвойних порід. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2025. Вип. 23. С. 395–402. **14.** Чапюк О. С., Гомон О. О., Петренко О. В. Підвищення міцності хвойних порід деревини шляхом модифікації епоксидною смолою. *Інновації у будівництві* : зб. тез доповідей X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених, 15 травня 2025 року, м. Луцьк. Луцьк : ЛНТУ, 2025. С. 79–81. **15.** Чапюк О. О., Гомон О. О. Особливості роботи модифікованої епоксидною смолою клеєної деревини сосни за одноразових та малоциклових навантажень. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини* : тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції, 12–14 червня 2025 року, м. Одеса. Одеса : ОДАБА, 2025. С. 69–70. **16.** Чапюк О. С., Гомон О. О. Вплив одноразових та малоциклових навантажень на механічні характеристики клеєної деревини сосни модифікованої епоксидною смолою. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса : ОДАБА, 2025. Вип. 29. С. 142–147.

REFERENCES:

1. Aleksievets V. I. *Robota ta rozrakhunok stalevykh nahelnykh ziednan derevianykh konstruktsii za povtornykh navantazhen* : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Rivne : NUVHP, 2011. 21 s.
2. Sasovskyi T. A. *Napruzhenno-deformovanyi stan balok iz kleienoi derevyny za dii malotsyklovykh navantazhen* : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Rivne : NUVHP, 2018. 200 s.
3. Pavliuk A. P. *Napruzhenno-deformovanyi stan elementiv z kleienoi derevyny v umovakh kosoho zghynu* : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Rivne : NUVHP, 2019. 200 s.
4. Cox T. R. *Wood: A History*. Cambridge, UK: Polity Press, 2012. 399 p.
5. Hoadley R. B. *Chemical and Physical Properties of Wood*. In *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings. Part 1: Wood Science and Technology*. Getty Publications : Los Angeles, CA, USA, 1998. Pp. 2–20.
6. Kim J. K., Pal K. *Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites*, 2010.
7. Hao J., Wu X.; Oporto G., Liu W., Wang J. *Structural Analysis and Strength-to-Weight Optimization of Wood-Based Sandwich Composite with Honeycomb Core under Three-Point Flexural Test*. *Eur. J. Wood Prod.* 2020. Vol. 78. Pp. 1195–1207.
8. Bekhta P., Krystofiak T. *Performance and modification of wood and wood-based materials*. *Forests*. 2023. Vol. 14. P. 963.
9. Homon O. O., Chapiuk O. S., Savchuk S. M. *Vykorystannia kleienoi derevyny u promyslovosti. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Lutsk, 2024. Vyp. 22. S. 15–22.
10. Homon O. O., Chapiuk O. S., Savchuk S. M. *Osoblyvosti zastosuvannia kleienoi derevyny. Innovatsiini protsesy v haluzi dorozhnoho budivnytstva* : zb. tez dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv, 6 lystopada 2024 roku, m. Lutsk. Lutsk : LNTU, 2024. S. 26–27.
11. Dovbenko T. O., Petrenko O. V., Chapiuk O. S., Homon O. O. *Analiz sposobiv modyfikuvannia derevyny. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. 2024. Vyp. 4(108). S. 12–20.
12. Homon O. O. *Poverkhnevi ta hlybynni sposoby modyfikuvannia derevyny. Teoretychni i eksperymentalni doslidzhennia v suchasnykh tekhnolohiiahk materialoznavstva ta mashynobuduvannia* : materialy X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (27–30 travnia 2025 roku, m. Lutsk). Lutsk : LNTU, 2025. S. 66.
13. Chapiuk O. S., Homon O. O., Petrenko O. V. *Osoblyvosti roboty modyfikovanoi*



epoksydnoiu smoloiu derevyny khvoinykh porid. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Lutsk, 2025. Vyp. 23. S. 395–402. **14.** Chapiuk O. S., Homon O. O., Petrenko O. V. Pidvyshchennia mitsnosti khvoinykh porid derevyny shliakhom modyfikatsii epoksydnoiu smoloiu. *Innovatsii u budivnytstvi* : zb. tez dopovidei X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh uchenykh, 15 travnia 2025 roku, m. Lutsk. Lutsk : LNTU, 2025. S. 79–81. **15.** Chapiuk O. O., Homon O. O. Osoblyvosti roboty modyfikovanoi epoksydnoiu smoloiu kleienoii derevyny sosny za odnorazovykh ta malotsyklovykh navantazhen. *Suchasni budivelni konstruktsii z metalu ta derevyny* : tezy dopovidei mizhnarodnoi naukovo–tekhnichnoi konferentsii, 12–14 chervnia 2025 roku, m. Odesa. Odesa : ODABA, 2025. S. 69–70. **16.** Chapiuk O. S., Homon O. O. Vplyv odnorazovykh ta malotsyklovykh navantazhen na mekhanichni kharakterystyky kleienoii derevyny sosny modyfikovanoi epoksydnoiu smoloiu. *Suchasni budivelni konstruktsii z metalu ta derevyny*. Odesa : ODABA, 2025. Vyp. 29. S. 142–147.

Polishchuk-Herasymchuk T. O. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-7103-9656],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Chapiuk O. S. ^[2; ORCID ID: 0000-0003-0283-1863],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Homon O. O. ^[2; ORCID ID: 0009-0009-6488-8073],
Senior Laboratory Assistant,

Masiuk Z. O. ^[3; ORCID ID: 0009-0006-3048-8969],
Lecturer of Special Disciplines

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

²*Lutsk National Technical University*

³*Higher Vocational Specialized School № 1, Rivne*

EXPERIMENTAL STUDY OF EPOXY-MODIFIED WOODEN BEAMS UNDER SINGLE AND LOW-CYCLE LOADING

The paper presents the results of experimental investigations of wooden beams modified with epoxy resin, focusing on their behavior under both single short-term loading and low-cycle repeated loading. Modified wood is considered a promising construction material because the modification process improves its durability, physical and mechanical properties, stiffness, and resistance to biological degradation such as rot and fungi. However, the application of epoxy resin as a modifying agent is still insufficiently studied, and there are currently no established design standards for structural elements made of this material. In this study, spruce and pine beams modified with epoxy resin were tested under different loading conditions: single short-term loading and low-cycle repeated loading. Strain gauges were attached to the upper and lower surfaces of the beams in the pure bending zone to record strain

development during the tests. The results revealed that under low-cycle loading, the relative deformations increased significantly, especially during the first cycles, with a strain increment of 26–36% after the first load application. Stabilization of the strain values occurred after approximately 15 cycles.

Comparative analysis showed that beams subjected to low-cycle loading demonstrated a reduction in load-bearing capacity by 16–20% compared to those tested under single short-term loading. At the same time, the relative strains in compression and tension zones increased by 5–15%. These findings confirm that cyclic loading has a considerable negative effect on the performance of epoxy-modified beams, which must be considered in structural applications. The experimental results highlight the advantages of wood modification with epoxy resin, such as improved deformation behavior, durability, and resistance to environmental influences. At the same time, they indicate the need for additional research on fire resistance, long-term behavior, and the economic feasibility of using epoxy-modified wood. The outcomes of this work can serve as a basis for developing future design guidelines and certification procedures for wooden structures made from epoxy-modified materials.

Keywords: wood; means for wood modification; ways to modify wood; operation of wooden structures.

Отримано: 07 травня 2025 року
Прорецензовано: 02 червня 2025 року
Прийнято до друку: 16 червня 2025 року