



Павлюк А. П. [1; ORCID ID: 0000-0003-3958-0519],

к.т.н., доцент,

Дацюк В. В. [2; ORCID ID: 0009-0008-7505-9660],

аспірант

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

ЖОРСТКІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК ЦІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Наведено результати експериментальних досліджень дерев'яних балок цільного перерізу після тривалої експлуатації. Було досліджено 12 балок із різною вологістю та терміном експлуатації. В кожній із серій було по дві балки із однаковою вологістю та терміном експлуатації. Встановлено жорсткість балок за другою групою граничних станів для кожної із серій. Збільшення віку деревини на прогини за другою групою граничних станів не має суттєвого впливу. Збільшення вологості деревини з 12% до 15 % призводить до збільшення прогинів балок.

Ключові слова: деревина; напружено-деформований стан; жорсткість; прогин; деформативність; балка; діаграма.

Постановка проблеми. Деревина є одним із найбільш поширених будівельних матеріалів, яку використовують, в тому числі, для виготовлення несучих конструкцій покрівель. Враховуючи велику кількість існуючих будівель і споруд із покрівлями по дерев'яній кроквяній системі, виникає необхідність дослідження стану деревини в елементах, які перебувають довгий час в експлуатації для розуміння роботи матеріалу та прогнозування його залишкового ресурсу, в тому числі і за другою групою граничних станів.

Аналіз останніх публікацій. Численні дослідження експлуатованих кроквяних систем говорять про те [1–13], що одним із найбільш поширених дефектів дерев'яних конструкцій в покрівлях є зміна температурно-вологісного режиму. Зміна вологості в дерев'яних елементах такого типу може змінюватися внаслідок протікання як самої покрівлі, так і від виникнення конденсату, тобто відсутності належної вентиляції. Більше того, будівлі із холодним режимом роботи горищного простору контактують із навколишнім середовищем, від якого їх відділяє лише покрівельний матеріал.

Тому вони піддаються впливу зміни вологості повітря, яка має, в тому числі, вплив і на вологість самої деревини.

Окрім досліджень, про вплив вологості, як одного із основних дефектів дерев'яних конструкцій вказують і діючі будівельні норми, які стосуються обстеження будівель і споруд [14; 15].

Метою даної роботи – дослідити жорсткість дерев'яних балок з цільної деревини за різної вологості та терміну експлуатації в умовах прямого згину експериментальним шляхом.

Методика експериментальних досліджень. Для проведення експериментальних випробувань балок з цільної деревини була виготовлена дослідна установка для випробувань. Розрахункова схема випробування – вільно лежача балка на двох опорах – шарнірно рухомій та шарнірно нерухомій. Розрахунковий проліт балок становив 1500 мм. Навантаження прикладалось в середній третині прольоту двома зосередженими силами. Розрахункова схема випробування балок наведена на рис. 1.

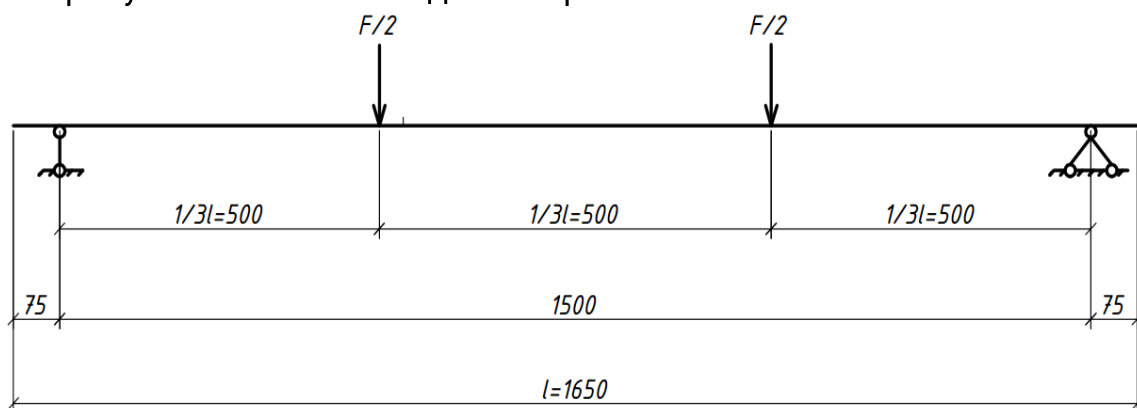


Рис. 1. Розрахункова схема випробування дослідних балок

В середині прольоту балки та на її опорах були влаштовані прогиноміри. На кожному із ступенів навантаження фіксувались величини прогинів.

В рамках дослідження проводилось підготовка та випробування 12 дерев'яних балок цільного перерізу із поперечним перерізом 50×80 мм. Загальна довжина балок 1650 мм. Випробування проводилось шляхом прикладання навантаження у третинах прольоту, тим самим забезпечуючи роботу балок в зоні чистого згину. Дослідні зразки балок виготовлялись із деревини кроквяних систем, які перебували тривалий час в експлуатації. Окрім терміну експлуатації показником, на який звертали увагу під час випробувань, була вологість балок, яка також для них була різною. В



таблиці 1 наведені назви балок, їх термін експлуатації та вологість відповідно.

Результати експериментальних досліджень. Навантаження прикладалось ступенями в 8–10% від передбачуваного руйнівного з врахуванням настанов та вимог [16–19]. Після прикладання кожного ступеня навантаження знімалися відліки зі всіх прогиномірів з витримкою не менше 5 хв.

Таблиця 1

Характеристики балок цільного перерізу та термін експлуатації

Назва балки	Вологість балки	Термін експлуатації деревини, з якої виготовлялись балки, років	Серія
Б-1	12	25	1
Б-2	12	25	
Б-3	12	50	2
Б-4	12	50	
Б-5	12	75	3
Б-6	12	75	
Б-7	15	25	4
Б-8	15	25	
Б-9	15	50	5
Б-10	15	50	
Б-11	15	75	6
Б-12	15	75	

За результатами проведених експериментальних досліджень побудовані графіки залежності прогинів балок від навантажень, що прикладались до балок. Для кожної із серій балок знаходились середні значення прогинів. За даними результатами наведені графіки (рис. 1–6) середніх значень прогинів для кожної із шести серій балок, що випробовувались. Фіксування прогинів проводилось до значення $0,8F_{\max}$ (де F_{\max} – руйнівне навантаження на балку) з метою запобігання пошкодження вимірювальних приладів.

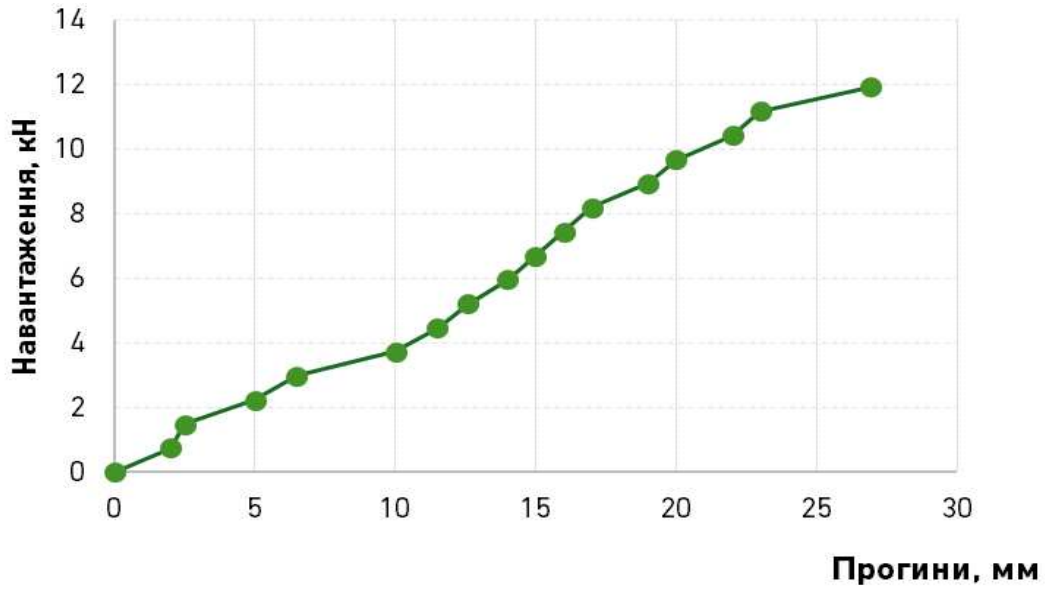


Рис. 1. Прогини балок 1-ї серії

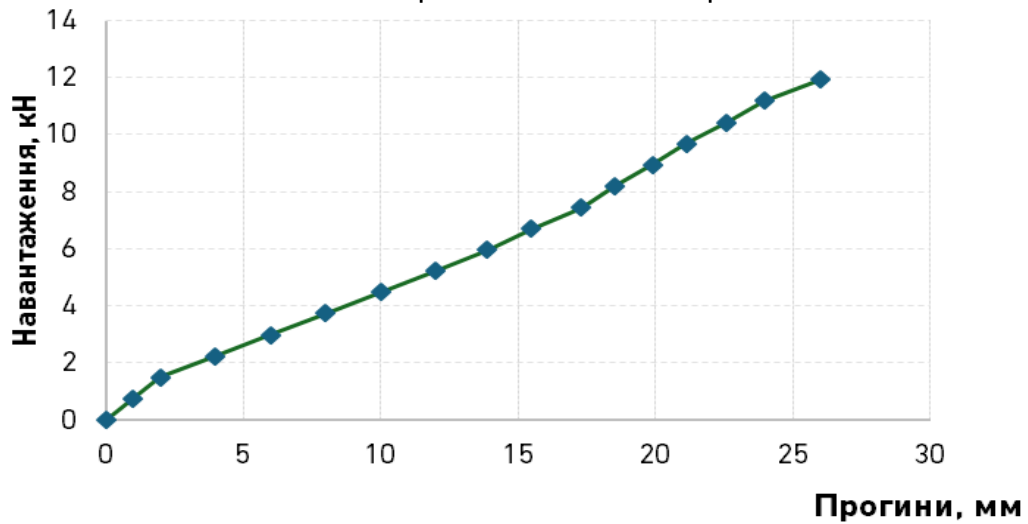


Рис. 2. Прогини балок 2-ї серії

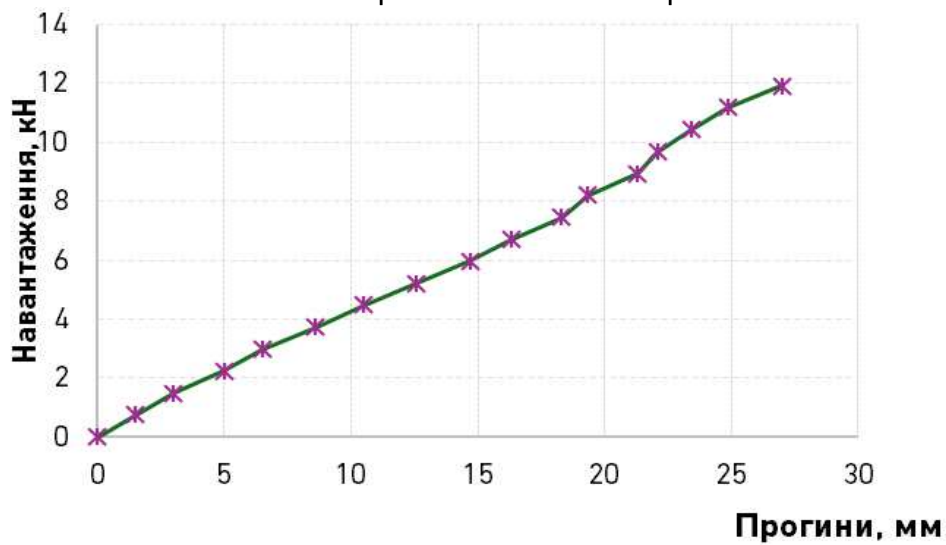


Рис. 3. Прогини балок 3-ї серії

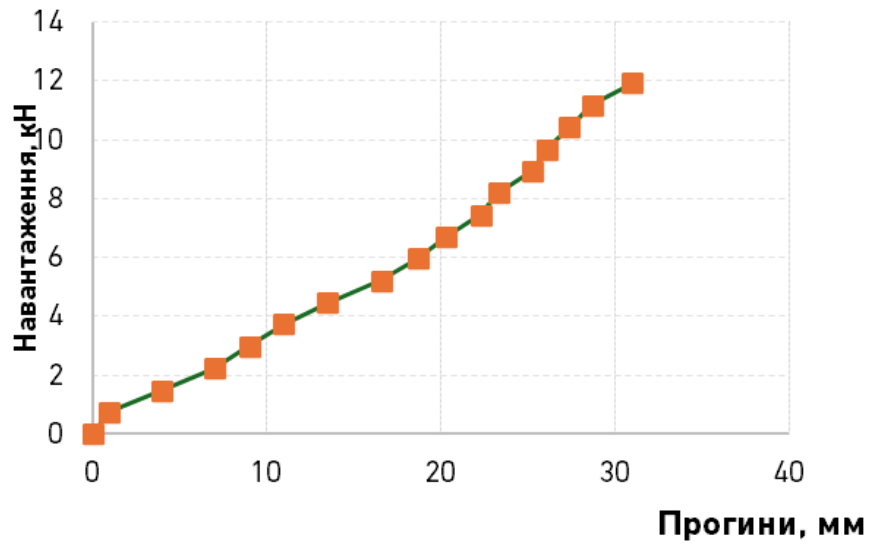


Рис. 4. Прогини балок 4-ї серії

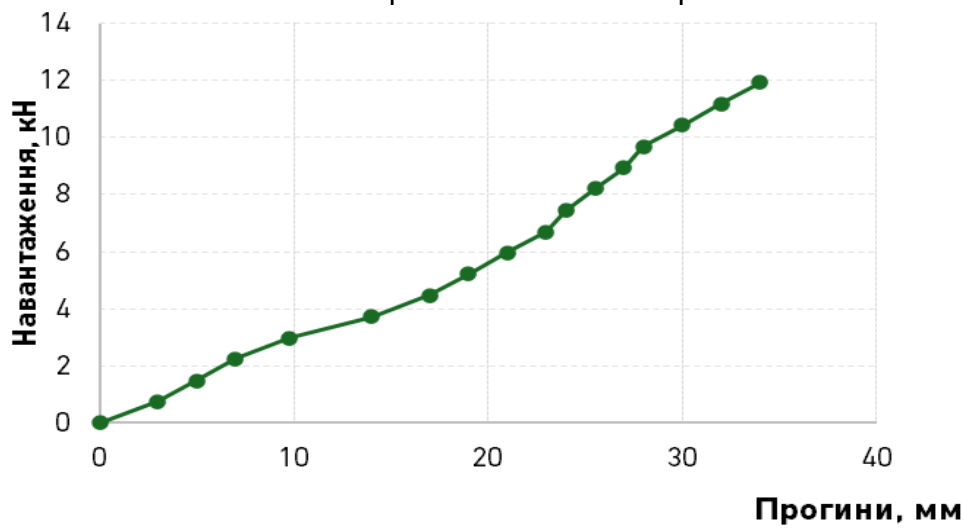


Рис. 5. Прогини балок 5-ї серії

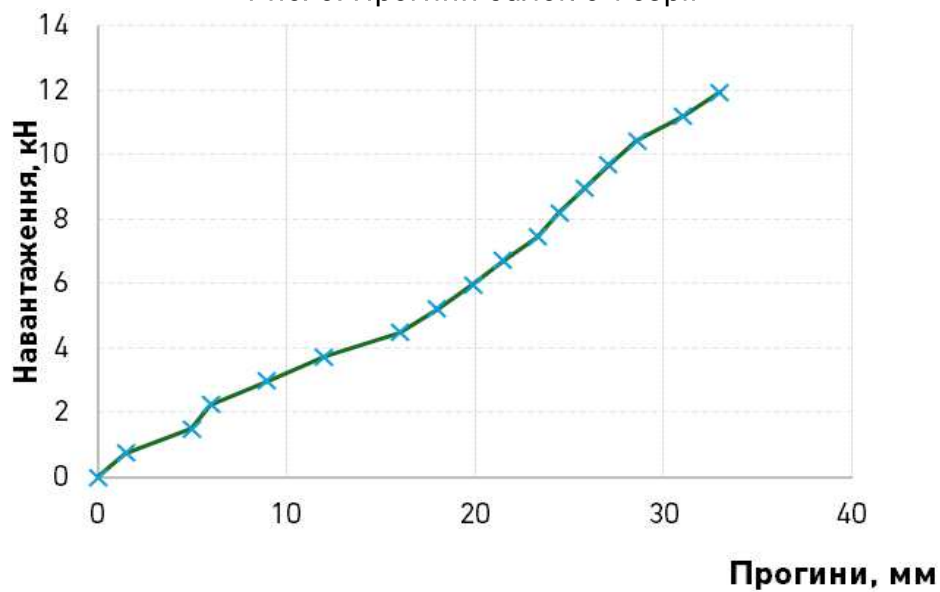


Рис. 6. Прогини балок 6-ї серії

Згідно [20] гранично допустимий прогин балок складає $1/150 l$, де l -проліт балки. В нашому випадку гранично допустимий прогин балок становить:

$$w_{fin} = \frac{l}{150} = \frac{1500}{150} = 10 \text{ мм.} \quad (1)$$

На основі отриманого значення граничного прогину, що становить 10 мм для балок, які випробовувались, знаходились значення навантажень, які відповідали даному прогину. Отримані значення навантажень, які відповідають навантаженню балок за другою групою станів, наведені в таблиці 2. Дані значення отримувались на основі графіків, що наведені на рис. 1–6.

Таблиця 2

Отримані значення прогинів

Номер серії	Величина навантаження при граничному прогині, кН	Значення прогину при навантаженні $0,8 F_{max}$, мм	Руйнівне навантаження, кН
1 серія	3,9	26,1	14,7
2 серія	4,2	27,1	14,0
3 серія	4,1	26,9	13,5
4 серія	3,4	33,2	12,8
5 серія	3,0	34,1	12,1
6 серія	3,2	31,3	11,2

Отримані дані вказують на певну залежність між значеннями прогинів та вологістю деревини. Дана залежність проявляється у вигляді збільшення прогинів із збільшенням вологості деревини. Закономірностей щодо впливу віку деревини на їх жорсткість на експериментальних зразках не спостерігалось.

Висновки

1. Отримано нові дані залежності жорсткості балок із деревини, що перебувала тривалий час в експлуатації із різними значеннями вологості, від навантаження. Побудовано графіки залежності прогинів даних балок від початку навантаження до їх руйнування.
2. Встановлено значення навантаження балок за другою групою граничних станів, які відповідають граничному прогину 10 мм. Так для балок 1–3 серій з вологістю 12% знаходились в межах 3,9–4,2 кН, для балок 4–6 серій з вологістю 15% – в межах 3,0–3,4 кН.



3. Встановлено, що збільшення вологості балок від 12% до 15% призводить до збільшення прогину незалежно від тривалості експлуатації деревини.

1. Blass H. J., Frese M. Failure analysis on timber structures in Germany. *Assessment of failures and malfunctions. Germany: Shaker Verlag / Kohler J., Fink G., Toratti T., editors.* 2011. 2. Blass H. J., Frese M. Failure analysis on timber structures. Karlsruhe : KIT Scientific publishing. 2010. 3. K. Kamal, R. Qayyum, S. Mathavan, T. Zafar. Wood defects classification using laws texture energy measures and supervised learning approach, *Adv. Eng. Inform.* 2017. Vol. 34. P. 125–135. 4. N. Magni`ere, S. Franke, B. Franke. Investigation on elements presenting cracks in timber structures. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2014).* 2014. Quebec, Canada. 5. E. Mergny, R. Mateo, M. Esteban, T. Descamps, and P. Latteur. Influence of cracks on the stiffness of timber structural elements. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016).* 2016. Vienna, Austria. 6. Pa Sun. Wood quality defect detection based on deep learning and multicriteria framework. *Mathematical Problems in Engineering.* 2022. P. 4878090. <https://doi.org/10.1155/2022/4878090> 7. Moya L., Bano V. Elastic behavior of east-growth uruguayan pine determined from compression and bending tests. *BioResources.* 2017. Vol.12(3). P. 5896–5912. 8. Palma P., Steiger R. Structural health monitoring of timber structures—Review of available methods and case studies. *Constr. Build. Mater.* 2020. Vol. 248. P. 118528. 9. Гомон Св. Св., Гомон Св. Ст., Матвіюк О. В., Верешко О. В., Черномаз Н. Ю. Застосування деревини в умовах агресивних середовищ. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.* Луцьк, 2022. Вип.17. С. 15–22. 10. Верешко О. В., Гомон Св. Св., Гомон Св. Ст., Довбенко Т. О. Деформівні показники деревини берези та сосни під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки.* Луцьк : ЛНТУ, 2021. № 72. С. 175–179. 11. Верешко О. В., Гомон Св. Св. Дослідження зміни густини деревини листяних та хвойних порід під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки.* Луцьк : ЛНТУ, 2022. № 73. С. 265–269. 12. Верешко О. В., Гомон Св. Св. Напружено-деформований стан згинальних дерев'яних елементів в умовах впливу агресивного кислотного середовища з врахуванням повних діаграм деформування матеріалу. *Наукові нотатки.* Луцьк : ЛНТУ, 2023. № 75. С. 200–205. 13. Гомон Св. Св., Матвіюк О. В., Савчук С. М., Верешко О. В., Кулаковський Л. Я. Вплив агресивного середовища на міцнісні та деформівні показники суцільної деревини хвойних порід. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки.* 2021. Вип. 2(94). С. 69–80. 14. ДСТУ EN 338. Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності. Київ : Мінрегіонбуд України, 2004. 10 с. 15. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2024. 74 с. 16. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 68 с. 17. Павлюк А. П. Робота балок з цільної деревини в умовах прямого та косоного згину. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.* Луцьк, 2016. Вип. 5. С. 259–266. 18. ДСТУ EN 384–2001. Лісоматеріали конструкційні. Визначення характеристичних значень механічних властивостей та

щільності. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 8 с. **19.** ДСТУ EN 380-2008. Лісоматеріали конструкційні. Загальні настанови щодо методів випробування на статичне навантаження. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 8 с. **20.** ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування К. : ДП «УкрНДНЦ», 2006. 15 с.

REFERENCES:

1. Blass H. J., Frese M. Failure analysis on timber structures in Germany. *Assessment of failures and malfunctions. Germany: Shaker Verlag / Kohler J., Fink G., Toratti T., editors.* 2011. **2.** Blass H. J., Frese M. Failure analysis on timber structures. Karlsruhe : KIT Scientific publishing. 2010. **3.** K. Kamal, R. Qayyum, S. Mathavan, T. Zafar. Wood defects classification using laws texture energy measures and supervised learning approach, *Adv. Eng. Inform.* 2017. Vol. 34. P. 125–135. **4.** N. Magni`ere, S. Franke, B. Franke. Investigation on elements presenting cracks in timber structures. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2014).* 2014. Quebec, Canada. **5.** E. Mergny, R. Mateo, M. Esteban, T. Descamps, and P. Latteur. Influence of cracks on the stiffness of timber structural elements. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016).* 2016. Vienna, Austria. **6.** Pa Sun. Wood quality defect detection based on deep learning and multicriteria framework. *Mathematical Problems in Engineering.* 2022. P. 4878090. <https://doi.org/10.1155/2022/4878090> **7.** Moya L., Bano V. Elastic behavior of east-growth uruguayan pine determined from compression and bending tests. *BioResources.* 2017. Vol.12(3). P. 5896–5912. **8.** Palma P., Steiger R. Structural health monitoring of timber structures—Review of available methods and case studies. *Constr. Build. Mater.* 2020. Vol. 248. P. 118528. **9.** Homon Sv. Sv., Homon Sv. St., Matviiuk O. V., Vereshko O. V., Chornomaz N. Yu. Zastosuvannia derevyny v umovakh ahresyvnykh seredovyshch. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi.* Lutsk, 2022. Vyp.17. S. 15–22. **10.** Vereshko O. V., Homon Sv. Sv., Homon Sv. St., Dovbenko T. O. Deformivni pokaznyky derevyny berezy ta sosny pid diieiu kyslotnykh seredovyshch. *Naukovi notatky.* Lutsk : LNTU, 2021. № 72. S. 175–179. **11.** Vereshko O. V., Homon Sv. Sv. Doslidzhennia zminy hustyny derevyny lystianykh ta khvoinykh porid pid diieiu kyslotnykh seredovyshch. *Naukovi notatky.* Lutsk : LNTU, 2022. № 73. S. 265–269. **12.** Vereshko O. V., Homon Sv. Sv. Napruzhenno-deformovanyi stan zghynalnykh derevianykh elementiv v umovakh vplyvu ahresyvnoho kyslotnoho seredovyshcha z vrakhuvanniam povnykh diahram deformuvannia materialu. *Naukovi notatky.* Lutsk : LNTU, 2023. № 75. S. 200–205. **13.** Homon Sv. Sv., Matviiuk O. V., Savchuk S. M., Vereshko O. V., Kulakovskiy L. Ya. Vplyv ahresyvnoho seredovyshcha na mitsnisni ta deformivni pokaznyky sutsilnoi derevyny khvoinykh porid. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Tekhnichni nauky.* 2021. Vyp. 2(94). S. 69–80. **14.** ДСТУ EN 338. Лісоматеріали конструкційні. Класи митності. Київ : Мінрегіонбуд України, 2004. 10 с. **15.** ДСТУ 9273:2024. Настанова shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiikist. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2024. 74 с. **16.** ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і пидсиллення несучых і оhorodzhuvalnykh budivelnykh konstruktsii ta osnov budivel i sporud. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 68 с. **17.** Pavliuk A. P. Robota balok z tsilnoi derevyny v umovakh priamoho ta kosoho zghynu. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi.* Lutsk, 2016. Vyp. 5. S. 259–266. **18.** ДСТУ EN 384–2001. Лісоматеріали конструкційні. Vyznachennia kharakterystychnykh



znachen mekhanichnykh vlastyivostei ta shchilnosti. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 8 s. **19**. DSTU EN 380-2008. Lisomaterialy konstruktsiini. Zahalni nastanovy shchodo metodiv vyprobuvannia na statychno navantazhennia. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 8 s. **20**. DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia K. : DP «UkrNDNTs», 2006. 15 s.

Pavliuk A. P. [1; ORCID ID: 0000-0003-3958-0519],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Datsiuk V. V. [2; ORCID ID: 0009-0008-7505-9660],

Post-graduate Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

²Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

RIGIDITY OF SOLID-SECTION WOODEN BEAMS AFTER LONG-TERM USE

Wood is one of the most widely used construction materials for manufacturing load-bearing roof structures. Therefore, it is important to understand the behavior of wood after long-term service, including the effect of moisture on its performance. Within the scope of the experimental study, twelve beams were manufactured from solid wood that had been in long-term service. These beams were divided into six different series. The first, second, and third series were made from wood with a moisture content of 12%, while the fourth, fifth, and sixth series were made from wood with a moisture content of 15%. The age of the wood ranged from 25 to 75 years.

Based on the test results, graphs showing the relationship between deflections and loads were obtained. Using the average deflection values for each beam series, the load-bearing capacity of the beams was determined according to the second group of limit states. As a result of the experiments, new data were obtained on the relationship between the stiffness of beams made from wood that had been in long-term service, with different moisture contents, and loads. Graphs of deflection versus loading were constructed.

The load values of the beams for the second group of limit states, which correspond to the limit deflection of 10 mm, were determined. Thus, for beams of series 1–3 with a humidity of 12%, they were within 3.9–4.2 kN, for beams of series 4–6 with a humidity of 15%, they were within 3.0–3.4 kN. It was established that an increase in the humidity of the beams from 12% to 15% leads to an increase in deflection regardless of the duration of wood use.

The obtained data indicate a certain dependence between the values of deflections and wood moisture content. This dependence is manifested in the form of an increase in deflections with an increase in wood moisture

content. No regularities regarding the influence of wood age on their stiffness were observed in the experimental samples.

Keywords: wood; stress-strain state; stiffness; deflection; deformation; beam; diagram.

Отримано: 08 жовтня 2025 року
Прорецензовано: 10 жовтня 2025 року
Прийнято до друку: 18 грудня 2025 року