

**В.В. Дацюк<sup>1</sup>, А.П. Павлюк<sup>2</sup>**

Луцький національний технічний університет<sup>1</sup>  
Національний університет водного господарства та природокористування<sup>2</sup>

## **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ НА ДЕФОРМІВНІСТЬ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

*Наведено результати експериментальних випробувань балок з цільної деревини за різного температурно-вологісного режиму, які були виготовлені з кроквяних систем після їх тривалої експлуатації. Загалом випробувано дванадцять балок із вологістю 12% та 15% та терміном експлуатації 25, 50 та 75 років. Встановлено вплив температурно-вологісного режиму на величини відносних деформацій балок. При збільшенні вологості балок з 12% до 15% спостерігалось незначне збільшення максимальних відносних деформацій стиснутої та розтягнутої зон. Значних закономірностей впливу віку деревини на розвиток деформацій балок не виявлено.*

*Ключові слова:* Деревина, напружено-деформований стан, деформації, навантаження, згинальний елемент, температурно-вологісний режим, термін експлуатації.

**V.V. Datsiuk, A.P. Pavluk**

## **INFLUENCE OF TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME ON THE DEFORMABILITY OF BENDING ELEMENTS AFTER LONG-TERM OPERATION**

*Operational experience with timber structures shows that one of the most common defects causing negative consequences for timber as a building material is moisture exposure. There are many causes of failure in timber structures of buildings and сооружений. In most cases, failure results from a combination of specific factors and influences acting on structural elements. An analysis of the conducted studies indicates that such factors include, among others, an increase in timber moisture content and the aging of materials.*

*The results of experimental tests of solid timber beams under different service conditions are presented. Within the framework of the tests, these conditions were simulated by varying the moisture content of the specimens from 12% to 15% and by considering different service lives. In total, twelve experimental beams with service lives of 25, 50, and 75 years were tested. The test specimens were divided into three series with different moisture contents and service lives.*

*As a result of the conducted tests, the values of the relative deformations of the beams were determined from the beginning of loading until failure. The load-bearing capacity of the beams was established. The failure mode of the beams was identified, occurring in the pure bending zone. The maximum values of relative deformations in the compressed and tension zones were determined. It was established that an increase in timber moisture content leads to an increase in the relative deformations of the compressed zone of the beam by up to 12%, and of the tension zone by up to 7%. No consistent patterns regarding the influence of timber age on the development of deformations in the tested beams were identified. However, it should be noted that no clear generalized correlation can be established regarding the influence of service life on deformability. The deformation behavior and load-bearing capacity of beams depend on their service conditions and the presence of external adverse effects on timber as a building material.*

*Key words:* Wood, stress-strain state, deformations, loading, bending element, temperature-humidity regime, service life.

**Постановка проблеми.** Досвід експлуатації кроквяних систем показує, що одним із найбільш поширених впливів, які спричиняють негативні наслідки для деревини як будівельного матеріалу є вплив температурно-вологісного режиму. Він може залежати від багатьох факторів. Під час експлуатації зволоження деревини може виникати внаслідок протікання інженерних мереж, пошкодження гідроізоляційних шарів та безпосередньо покрівель, утворення конденсату, зміни пори року тощо [1]. Тому питання дослідження згинальних елементів із впливом зміни температурно-вологісного режиму є актуальним питанням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень.** Існує велика кількість причин руйнування дерев'яних конструкцій будівель і споруд. Здебільшого до руйнування призводять поєднання певних факторів і чинників впливу на конструктивні елементи. Автори [2] серед таких виділяють перевантаження через снігові навантаження, помилки під час проектування, помилки під час виконання монтажу, невідповідність конструкцій. До окремої групи чинників відносяться недостатня якість матеріалів, проникнення вологи, кліматичні впливи та неналежне технічне обслуговування [2-4].

Окрім факторів явного негативного впливу на дерев'яні конструкції, існують і інші, які проявляються в більшому розрізі часу і візуально спостерігаються лише їх наслідки. До таких факторів відносять вологість деревини, яка піддається змінам в процесі її експлуатації [5-9]. Більше того, вона залежить від температурно-вологісного режиму середовища, в якому експлуатується, так як деревина може «поглинати» і «віддавати» відносну вологість. У випадках використання в якості

будівельного матеріалу деревини із підвищеною вологістю (більше 12%) і її експлуатації в теплих приміщеннях буде виникати зміна вологості балки, і, як наслідок, утворення тріщин від усушки деревини. У дерев'яних клеєних конструкціях за рахунок неоднорідності вологості шарів деревини можуть виникати додаткові внутрішні напруження, які не враховуються розрахунковими моделями [10,11].

У роботах [12-14] серед детального аналізу руйнувань дерев'яних конструкцій на різних об'єктах автори виділяють вплив вологи як одну із причин виникнення пошкоджень. У багатьох об'єктах досліджень додатковим негативним чинником впливу на технічний стан були усадкові деформації деревини, яка була зведена з надто високою вологістю порівняно з рівноважною вологістю будівлі в цілому.

**Постановка завдання.** Метою роботи є встановлення деформацій балок з цільної деревини за різної вологості та термінів експлуатації від початку завантаження і до руйнування.

**Методика експериментальних досліджень.** В рамках виконання поставленої мети роботи було проведено дослідження балок із цільної деревини. Деревина для виготовлення балок використовувалась із об'єктів (кроквяних систем), що перебували в експлуатації протягом приблизно 25, 50 та 75 років зі зміною температурно-вологісного режиму.

Крім терміну експлуатації ще одним параметром, який досліджувався як фактор впливу на деформації балок, була вологість. Вологість балок, які піддавались випробування, становила 12 та 15% відповідно. Різний вік та вологість дослідних балок моделювали різні режими експлуатації.

Випробування проводилось в сертифікованій лабораторії. Методика випробувань згинальних елементів цільного перерізу наведена в науковій праці [15]. Випробуванню піддавались балки з поперечним перерізом 50x80(h) мм і довжиною 1650 мм. Розрахунковий проліт становив 1500 мм. Навантаження прикладалось в третирах прольоту, що забезпечувало роботу балки в зоні чистого згину.

Перед випробуваннями всі балки були умовно поділені на шість серій – по дві балки в кожній серії. Вимірювання відносних деформацій балок виконувалось з використанням тензодатчиків та тензометричної системи. Загальна кількість датчиків на кожній балці становила 8 шт. Встановлення датчиків проводилось в середині прольоту балки, так як в даному місці деформації будуть максимальні.

Всі експерименти проводились згідно діючих нормативних документів [16-19].

**Результати експериментальних досліджень.** Після обробки отриманих результатів отримали графіки деформування балок від початку завантаження і до руйнування. На рис. 1...6 наведені графіки деформування балок Б-1, Б-3, Б-5, Б-7, Б-9 та Б-11 (по одній на кожній із серій балок) та схема розташування тензодатчиків по відношенню до поперечного перерізу балки.

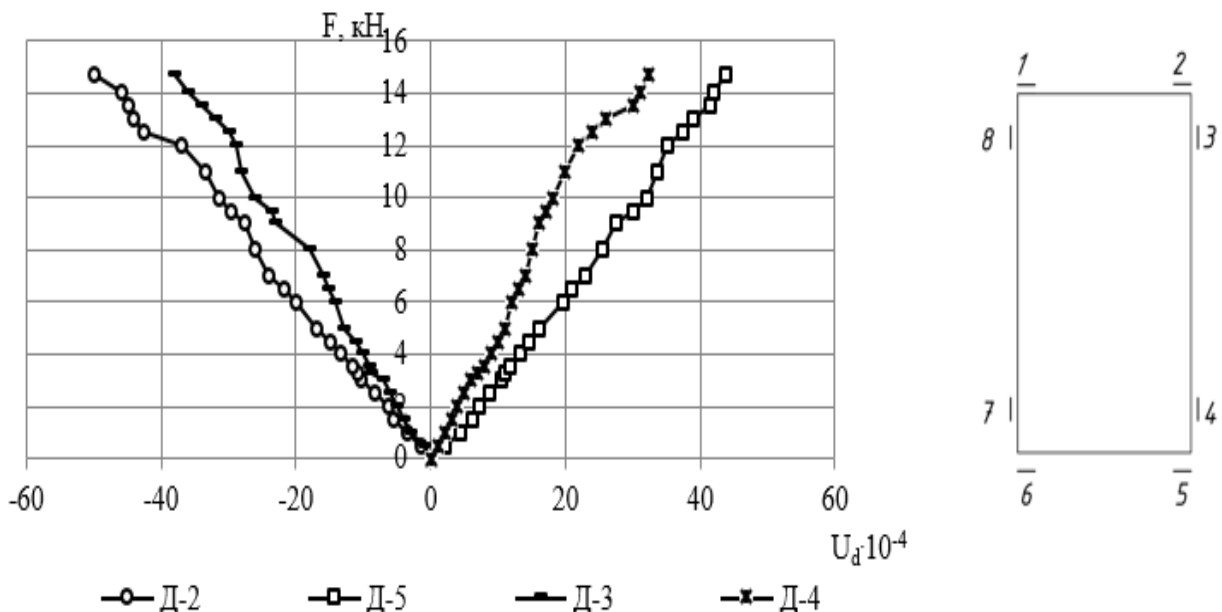


Рис.1. Деформування балки Б-1

© В.В. Дацюк, А.П. Павлюк

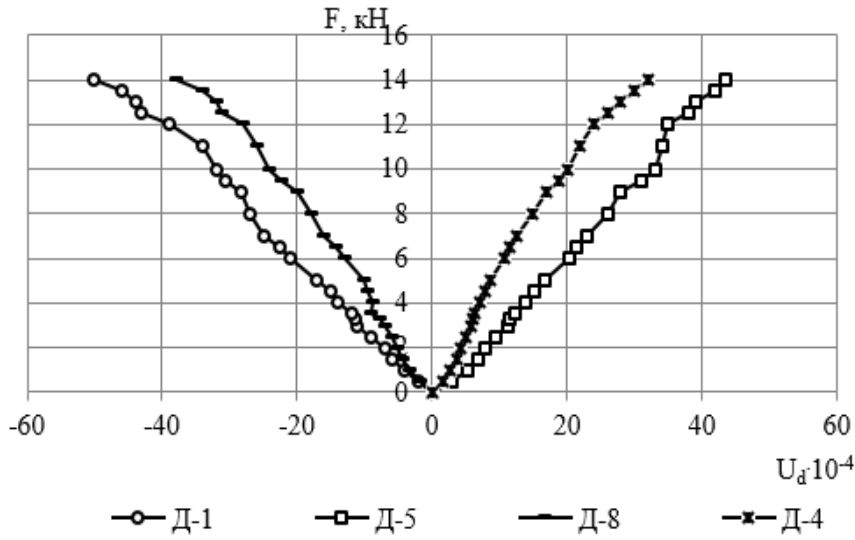


Рис.2. Деформування балки Б-3

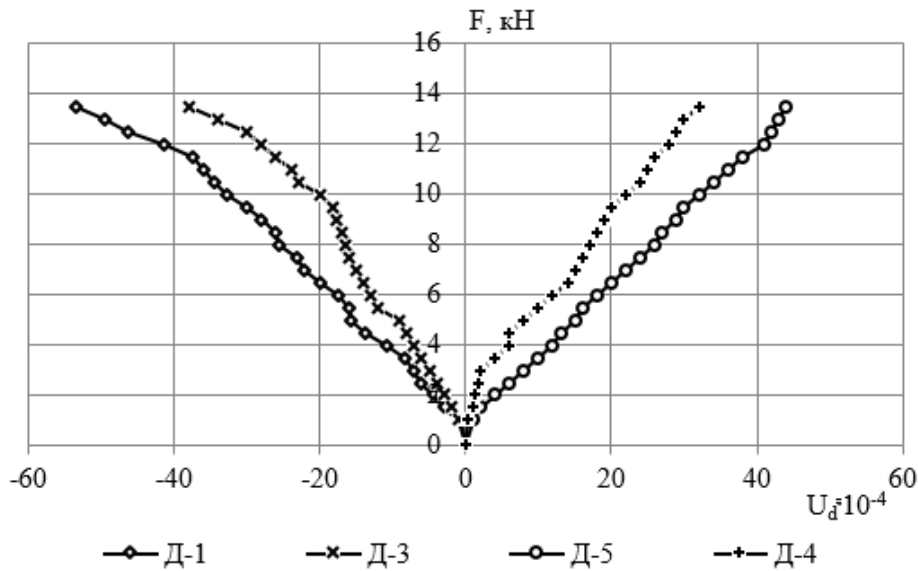


Рис.3. Деформування балки Б-5

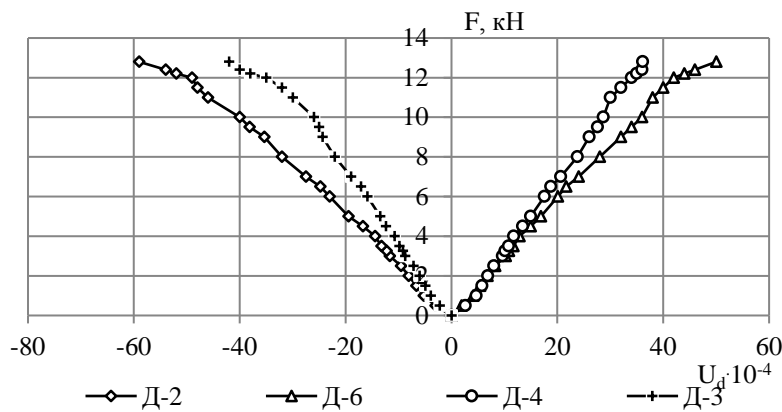


Рис.4. Деформування балки Б-7

© В.В. Дацюк, А.П. Павлюк

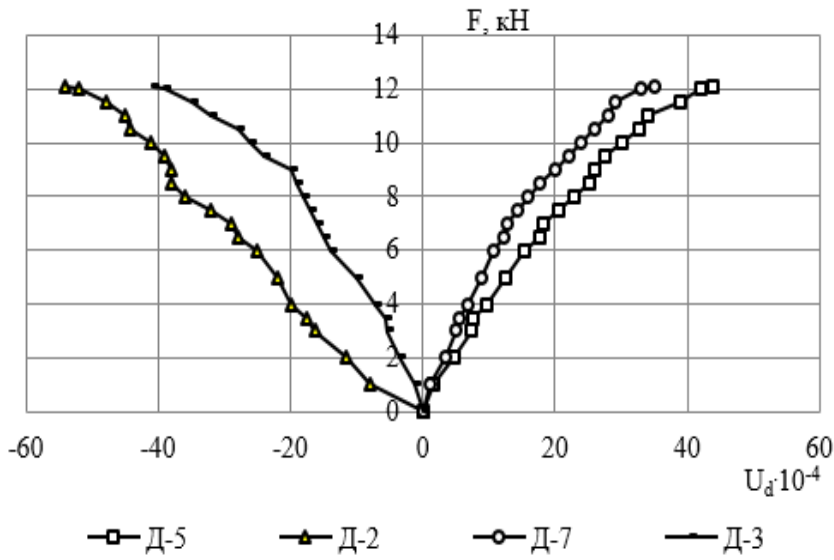


Рис.5. Деформування балки Б-9

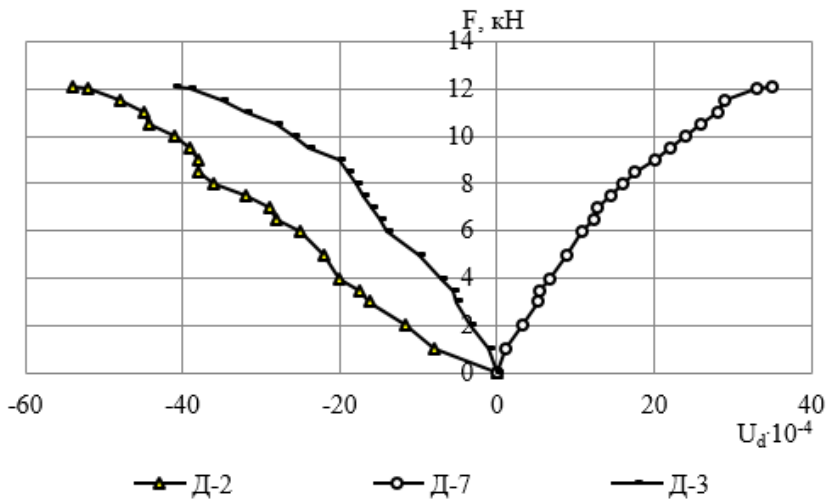
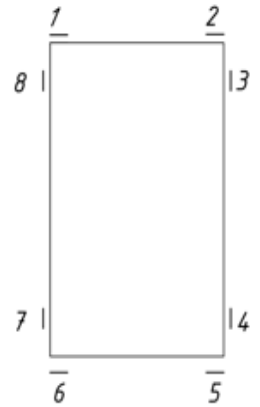


Рис.5. Деформування балки Б-9

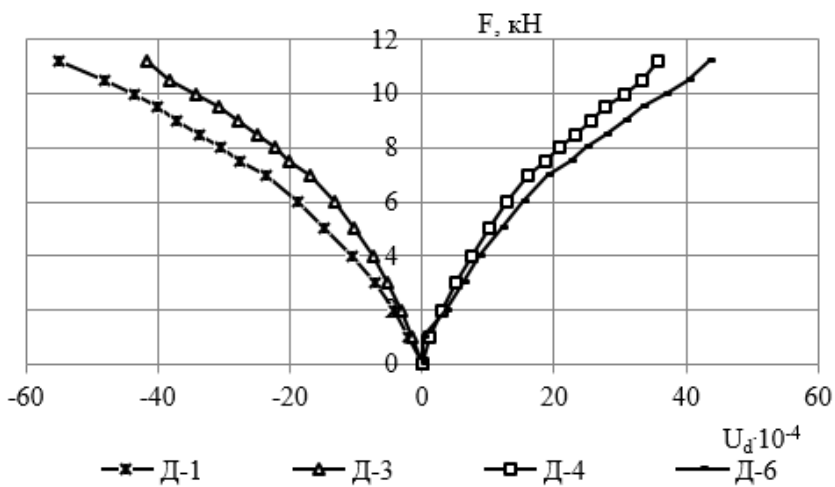


Рис.6. Деформування балки Б-11



В таблиці 1 наведені отримані результати максимальних відносних деформацій стиснутої та розтягнутої зони для кожної із балок, що випробовувались.

Табл. 1

**Максимальні відносні деформації балок**

Назва балки	Вологість балки	Термін експлуатації деревини, з якої виготовлялись балки, років	Серія	Максимальні деформації стисненої зони, $U_{c,d} \times 10^{-4}$	Максимальні деформації розтягнутої зони, $U_{t,d} \times 10^{-4}$
Б-1	12	25	1	49,9	43,8
Б-2	12	25		50,3	44,8
Б-3	12	50	2	50,2	43,4
Б-4	12	50		49,5	42,1
Б-5	12	75	3	53,3	44,2
Б-6	12	75		49,5	44,1
Б-7	15	25	4	58,9	49,3
Б-8	15	25		57,1	46,4
Б-9	15	50	5	56,4	44,2
Б-10	15	50		56,1	49,2
Б-11	15	75	6	55,1	42,9
Б-12	15	75		56,2	48,4

В таблиці 2 наведені максимальні середні значення деформацій стиснутої та розтягнутої зон для кожної із серій балок. Середні значення для кожної із серій знаходились як середнє арифметичне між максимальними значеннями деформацій двох балок.

Табл. 2

**Максимальні деформації стиснутої та розтягнутої зон балок**

Номер серії	Руйнівне навантаження, кН	Середні максимальні деформації стисненої зони, $U_{c,d} \times 10^{-4}$	Середні максимальні деформації розтягнутої зони, $U_{t,d} \times 10^{-4}$
1 серія	14,7	50,10	44,30
2 серія	14,0	49,85	42,75
3 серія	13,5	51,40	44,15
4 серія	12,8	58,00	47,85
5 серія	12,1	56,25	46,70
6 серія	11,2	55,65	45,65

Максимальні відносні деформації стиснутої зони для балок першої, другої та третьої серії знаходились в межах від  $u_{c,d} = 49,85 \times 10^{-4}$  до  $u_{c,d} = 51,40 \times 10^{-4}$ , розтягнутої зони – від  $u_{c,d} = 42,75 \times 10^{-4}$  до  $u_{c,d} = 44,30 \times 10^{-4}$ . Максимальні відносні деформації стиснутої зони для балок четвертої, п'ятої та шостої серії знаходились в межах від  $u_{c,d} = 55,65 \times 10^{-4}$  до  $u_{c,d} = 58,00 \times 10^{-4}$ , розтягнутої зони – від  $u_{c,d} = 45,65 \times 10^{-4}$  до  $u_{c,d} = 47,85 \times 10^{-4}$ .

### Висновки.

1. В результаті проведення випробувань встановлено вплив температурно-вологісного режиму на величини відносних деформацій дерев'яних балок цільного перерізу після тривалої експлуатації.
2. Встановлено, що збільшення вологості деревини з 12 до 15 % призводить до незначного збільшення максимальних відносних деформацій стиснутої та розтягнутої зон.
3. Значних закономірностей між розподілом максимальних відносних деформацій та терміном експлуатації деревини в рамках випробувань фактично не виявлено.

### Список використаних джерел

1. Дацюк В.В., Гомон Св.Св., Петренко О.В. Тривала експлуатація елементів та конструкцій з деревини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. Вип. 20. С. 11-18. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-02)
2. Blaß H. J., Frese M., 2010. Schadensanalyse von Hallentragwerken aus Holz. 134 p.
3. Frese M., Blas H.J., 2011. Statistics of damages to timber structures in Germany. *Engineering Structures* 33 (11), 2969-2977. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.030>
4. Eva Frühwald Hansson, 2011. Analysis of structural failures in timber structures: Typical causes for failure and failure modes. *Engineering Structures* 33 (11), 2978–2982. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.045>
5. Roshchuk M., Homon S., Pavluk A., Gomon S., Drobysshynets S., Romaniuk M., Smal M., Dziubynska O., 2024. Effect of long-term moisture on the mechanical properties of wood: an experimental study. *Procedia Structural Integrity* 59, 718-723. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.102>
6. Гомон Св.Св., Гомон С.С., Рощук М.М. Експериментально-теоретичні дослідження критичних деформацій деревини хвойних порід з підвищеним вмістом вологи. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2023. Вип. 44. С. 157-164. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i44.18>
7. Ясній П.В., Гомон С.С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Том 28. №1. С. 41–48. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-1-49-56>
8. Рощук М.М., Гомон Св.Св. Несуча здатність дерев'яних балок цільного перерізу після тривалого зволоження. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди*. Рівне, 2025. Вип. 48. С. 262-268. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i48.29>
9. Datsiuk V., Homon S., Gomon S., Dovbenko V., Petrenko O., Parfentyeva I., Romaniuk M., 2024. Effect of long-term operation on the strength properties of pine wood. *Procedia Structural Integrity* 59, 583-587. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.082>
10. Kánnár A., 2012. Szakmai zárójelentés A Baross Rtartó1 Omfb-00398/2010 számú pályázat hoz, 22.
11. Csilla V., 2012. Damage problems in glued laminated timber. *Drewno* 55 (188), 115-128.
12. Dröge, G., Dröge, T. Schäden an Holztragwerken. *Schadenfreies Bauen*, Band 28, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003.
13. Mönck, W., Erler, K. Schäden an Holzkonstruktionen. Huss-Medien GmbH, Verlag Bauwesen, 4th Ed., Berlin 2004.
14. Colling F. Lernen aus Schäden in Holzbau - Ursachen, Vermeidung, Beispiele. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000.

15. Datsiuk V., Homon S., Lukianenko O., Gomon S., Puhach Yu., Gomon P., Kis N., Kutsyna I., 2026. Structural performance of timber beams after long-term service: an experimental study. *Procedia Structural Integrity* 81, 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2026.03.013>
16. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України, 2018. 36 с.
17. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2017. 111 с.
18. 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.
19. Eurocode 5. (2004). Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 124 p.