

DOI:  
УДК 539.3

к.т.н., доцент **Гомон С.С.**,  
slavagomon@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3401-0760, h-index:1,  
к.т.н., доцент **Гомон П.С.**,  
p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5312-0351, h-index:1,  
Національний університет водного господарства  
та природокористування, м. Рівне,  
**Верешко О.В.**, olegboremel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7069-3397,  
Луцький національний технічний університет

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ХВОЙНИХ ТА ЛИСТЯНИХ ПОРІД ДЕРЕВИНИ

*Вперше проведено експериментальні дослідження різних хвойних (модрини, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) порід деревини на стиск вздовж волокон за жорсткого режиму випробувань. Побудовано повні діаграми « $\sigma$ - $\epsilon$ » деревини, визначено критичні деформації. Отримано формулу для визначення критичних деформацій деревини теоретичним шляхом.*

*Ключові слова: деревина; критичні деформації; напруження; діаграма; породи деревини.*

**Постановка проблеми.** Деревина залишається стратегічним матеріалом для різних галузей промисловості. Негативним фактором залишається те, що велика кількість сировинної необробленої деревини експортується за кордон. При цьому зменшуються площі лісів та стратегічні запаси промислової деревини, зокрема в Карпатському регіоні. Позитивним фактором є те, що за останні проміжки часу, в нашому західному регіоні відкривається все більше фабрик та заводів деревообробного напрямку з виготовлення матеріалів, конструкцій на основі суцільної та композиційної деревини (деревини з поліпшеними властивостями) [1]. Разом з тим перед вченими постають нові задачі з більш широкого спектру дослідження фізико-механічних властивостей різних порід деревини та композиційних матеріалів на її основі. В той же час науковий прогрес дозволяє вивчати такі властивості ще з більшою точністю.

За останній час в галузі будівництва набувають популярності експериментальні дослідження матеріалів та конструкцій (залізобетонних, металевих, дерев'яних) за так званого «жорсткого» режиму випробувань. Тобто випробування таких зразків від початку завантаження і до повного їх руйнування. Такі випробування можливі тільки на сучасних випробувальних

машинах з відповідним комп'ютерним забезпеченням, до таких відносяться сервогідравлічні випробувальні машини СТМ-100 [2,3]. За допомогою такого обладнання можливо будувати повні діаграми «напруження-деформації» різних матеріалів, зокрема також із деревини (на стиск вздовж волокон). Також в процесі побудови таких діаграм дослідники отримують експериментальні значення критичних деформацій. Отже, отримання критичних деформацій експериментальним та теоретичним шляхом хвойних та листяних порід деревини є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень.** Експериментальні дослідження деревини сосни за жорсткого режиму випробувань на стиск вздовж волокон були проведені [4,5]. Дослідниками були побудовані повні діаграми деформування деревини сосни та встановлені значення критичних деформацій, що відповідають максимальному напруженню. Нами також були проведені такі дослідження, але вони стосувалися інших порід деревини (модрина, ялини, берези, вільхи та ясена) [6].

Визначення критичних деформацій деревини теоретичним шляхом знаходимо в роботах Гринкруг Н.В. [7]. Автор визначала такі деформації, аналізуючи експериментальні дослідження інших вчених. Формула для визначення критичних деформацій [7] носить емпіричний характер, залежить від максимального напруження та не виділяє пружні і пластичні властивості деревини.

$$u_{c,0,d} = (735,825 \cdot \sqrt{f_{c,0,d}} - 3,902) \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

В іншому випадку більшість вчених критичні деформації деревини записують у вигляді цифрового значення [8,9,10], і вони носять прогнозований характер. Тому що в той час не було відповідного обладнання для побудови повних діаграм «напруження-деформації» та визначення точних значень критичних деформацій.

**Постановка завдання.** Дослідження критичних деформацій різних хвойних (модрина, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) порід деревини експериментальним та теоретичним шляхом. А також отримання універсальної формули для визначення таких деформацій для всіх порід деревини з врахуванням не тільки максимального напруження, але й початкового модуля пружності.

**Викладення основного матеріалу.** Для вирішення поставленої задачі було проведено експериментальні дослідження призм суцільного перерізу конструкційних розмірів 1 сорту різних порід деревини (берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини) перерізом 30x30x120 мм. Експеримент був проведений в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя на

сервогідравлічній випробувальній машині STM-100 [2,3] (рис.1) з відповідним програмним забезпеченням (рис.2) за жорсткого режиму випробувань. Вологість деревини на момент випробувань складала 12%.

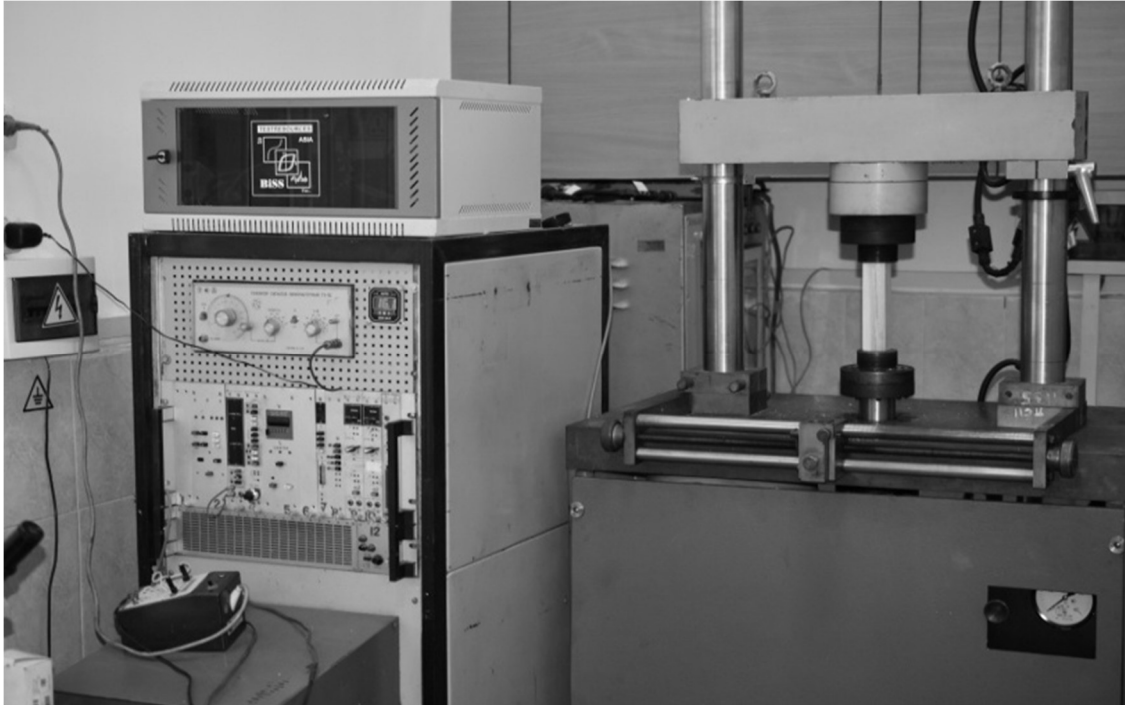


Рис.1. Сервогідравлічна випробувальна машина STM-100

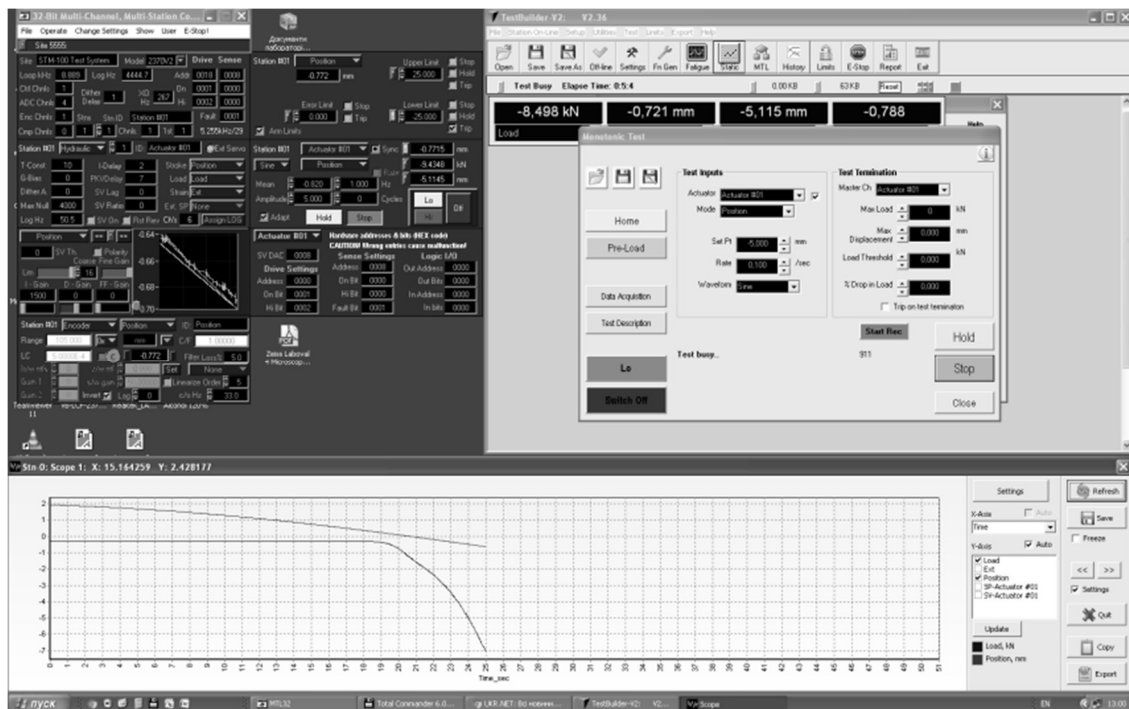


Рис.2. Інтерфейс з програмним забезпеченням

За результатами експериментальних досліджень були побудовані повні діаграми деформування різних порід деревини « $\sigma_c$ - $u_c$ » [6].

Таким чином вперше були визначені критичні деформації листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрина, ялини) порід деревини експериментальним шляхом за відповідного максимального напруження.

Величину критичних деформацій пропонується визначати за сумою пружних та пластичних деформацій

$$u_{c,0,d} = u_{c,el} + u_{c,pl} \quad (2)$$

Враховуючи [11,12] та наші експериментальні дослідження формула (2) набуде вигляду

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_c + 6,55 \cdot 10^{-7} \cdot f_{c,0,d}^2 \quad (3)$$

Визначимо критичні деформації деревини теоретичним шляхом відповідно за формулами (1), (3) за даними експериментальних досліджень Тутурин С.В., Вареника К.А.[4,5] та нашими (рис.3) [6]. Експериментальні значення середніх критичних деформацій деревини різних авторів та значення критичних деформацій визначених за формулами (1) та (3) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні значення середніх критичних деформацій деревини різних авторів та відповідні значення критичних деформацій визначених за формулами (1) та (3)

Порода деревини	Переріз ахвх, мм	К-сть призм шт.	$f_{c,0,d}$ МПа	$u_{c,0,d,exp}$	$E_c$ , МПа	$u_{c,0,d,th}$ формула (3)	$u_{c,0,d,th}$ формула (1)
Експериментальні дослідження Гомона С.С.							
Береза	30x30x120	9	46,1	0,00525	12300	0,00514	0,00499
Вільха	30x30x120	9	40,8	0,00450	11700	0,00458	0,00470
Модрина	30x30x120	9	59,7	0,00641	13700	0,00669	0,00568
Сосна	30x30x120	9	45,3	0,00515	12900	0,00485	0,00495
Ялина	30x30x120	9	43,6	0,00467	14400	0,00427	0,00485
Ясен	30x30x120	9	57,7	0,00610	16000	0,00572	0,00556
Експериментальні дослідження Тутурин С.В. [4]							
Сосна	30x30x90	16	44,3	0,00481	12850	0,00473	0,00489
	40x40x120	12	51,0	0,00599	12850	0,00567	0,00525
	50x50x150	10	38,2	0,00411	12850	0,00390	0,00451
	60x60x180	13	42,6	0,00464	12850	0,00451	0,00480
	70x70x210	8	36,8	0,00401	12850	0,00378	0,00447
Експериментальні дослідження Вареника К.А. [5]							
Сосна	30x30x120	5	67,1	0,00843	14800	0,00748	0,00602

Проведемо статистичну оцінку формул (1), (3) з визначення критичних деформацій різних порід деревини (рис.3,4).

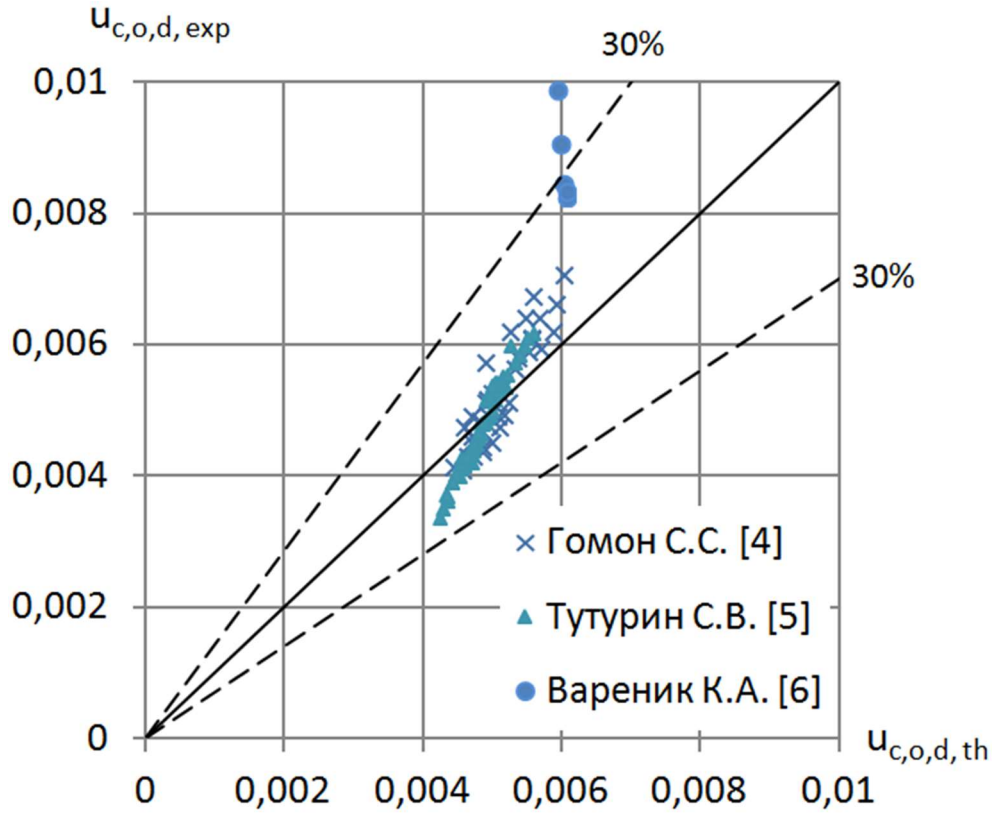


Рис. 3. Відхилення теоретичних за формулою (1) та дослідних значень критичних деформацій деревини різними дослідниками

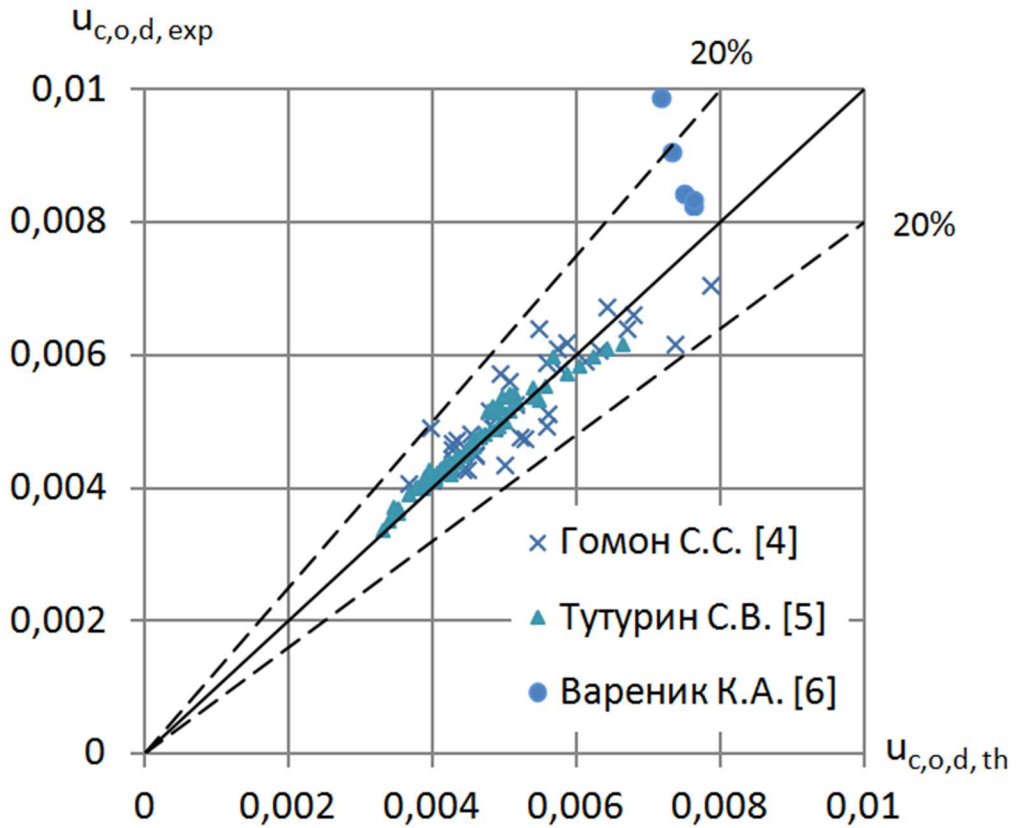


Рис.4. Відхилення теоретичних за формулою (3) та дослідних значень критичних деформацій деревини різними дослідниками

Формула (1) дає непогану збіжність за максимального напруження від 40 до 50 МПа. Нижче та вище таких напружень збіжність вже є менш задовільною або взагалі незадовільною. Залежність (1) також має ряд інших недоліків, зокрема, носить чисто емпіричний характер, в даній функції немає відокремлення пружних та пластичних деформацій, залежить тільки від максимального напруження.

Отже, ми спостерігаємо, що формула (3) має кращу збіжність ніж (1) з експериментальними даними. Функція (3) має ряд інших переваг: є досить простою та зручною при розрахунках, в ній виділено дві складові (пружню та пластичну), не носить емпіричний характер, залежить від максимального напруження та початкового модуля пружності; може бути використана, як для хвойних, так і листяних порід деревини. І в подальшому буде прийнята для різного роду розрахунків елементів та конструкцій з деревини [13,14,15,16,17].

### **Висновки.**

1) Вперше проведено детальні експериментальні дослідження різних хвойних (модрина, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) порід деревини на стиск вздовж волокон одноразовим короткочасним навантаженням за жорсткого режиму випробувань;

2) Побудовано повні діаграми « $\sigma_c$ - $u_c$ » деревини, визначено критичні деформації експериментальним шляхом;

3) Отримано універсальну формулу для визначення критичних деформацій листяних та хвойних порід деревини теоретичним шляхом;

4) Проведена статистична оцінка збіжності отриманої формули з експериментальними дослідженнями різних авторів.

### **Список використаних джерел**

1. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю.О., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 44-50.

2. Yasniy P.V. et al. Microcrack initiation and growth in heat-resistant 15Kh2MFA steel under cyclic deformation // Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct. Blackwell Science Ltd, 2005. Vol. 28, № 4. P. 391–397.

3. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втрома і тріщиноотривкість: монографія. Львів: Світ, 1998. 292 с.

4. Тутурин С.В. Механическая прочность древесины: дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. – Москва, 2005. 318с.

5. Вареник К.А. Расчет центрально-сжатых деревянных элементов с учетом ползучести: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Новгород Великий: НГУ им. Ярослава Мудрого, 2015. 167 с.

6. Гомон С.С., Гомон П.С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини « $\sigma$ - $\epsilon$ » суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. Рівне: Вид-во НУВГП, 2020. Вип 38. С. 321-330.

7. Гринкрук Н.В. Моделирование и расчет элементов деревянных конструкций при химически агрессивных воздействиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Владивосток: ДГТУ им. В.В. Куйбышева, 2004. 202 с.

8. Воронюк И.С. Учет нисходящей ветви диаграммы деформаций при чистом изгибе. Строительная механика и расчет сооружений. 1983. №4. С. 17-20.

9. Губенко А.Б., Шишкин В.Е. Исследование несущей способности и жесткости деревянных элементов с различной формой сечения при поперечном изгибе. Исследования по деревянным конструкциям. Сборник ЦНИПС. Москва: Стройиздат, 1950. С.94-148.

10. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций: монография. Москва: Стройиздат, 1953. 320 с.

11. Десов А.Е. Макроструктурная гипотеза прочности бетона при сжатии и результаты ее экспериментальной проверки. Известие вузов: Строительство и архитектура, 1972. №7. С.320-327.

12. Шейкин А.Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона. Строительная механика и мосты. Москва: Трансжелдориздат, 1946. Выпуск 69. С. 48-52.

13. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads // AIP Conference Proceedings 2077, 020020 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091881>. 14. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending // AIP Conference Proceedings 2077, 020019 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091880>.

15. Gomon S., Gomon S., Gomon P., Pavluk A., Sobczak-Piastka J. Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads // AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5091882>.

16. Jockwer R., Streiger R., Flangi A. State-of-the-art review of approaches for the design of timber beams with notches Journal of Structural Engineering (United States) (2014). DOI: [10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000838](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000838).

17. Gomon S., Pavluk A. Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending, *Underwater technologies*, 7 (2017), 42-48. DOI: [10.26884/1707.1801](https://doi.org/10.26884/1707.1801).

к.т.н., доцент Гомон С.С., к.т.н., доцент Гомон П.С.,  
 Национальный университет водного хозяйства  
 и природоиспользования, г. Ровно,  
 Верешко О.В., Луцкий национальный технический университет

## **К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КРИТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ХВОЙНЫХ И ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ**

Впервые проведены экспериментальные исследования различных хвойных (лиственницы, сосны, ели) и лиственных (березы, ольхи, ясеня) пород древесины на сжатие вдоль волокон по жесткому режиму испытаний. Построены полные диаграммы « $\sigma$ - $\epsilon$ » древесины, определены критические деформации. Получена формула для определения критических деформаций древесины теоретическим путем.

Ключевые слова: древесина; критические деформации; напряжения; диаграмма; породы древесины.

candidate of technical sciences, associate professor Gomon Svyatoslav,  
 candidate of technical sciences, associate professor Gomon Petro,  
 National University of Water and Environmental Engineering, Rivne,  
 senior lecturer Vereshko Oleg.  
 Lutsk National Technical University

## **TO DETERMINATION OF CRITICAL DEFORMATIONS OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS TIMBER SPECIES**

The article analyzes in detail the literary sources for determining the critical deformations of various hardwood and coniferous wood species by domestic and foreign scientists. By analyzing the works of different researchers, it was found that the critical deformations of pine wood were experimentally determined by Tuturin S.V. and Varenyk K.A. on samples of structural sizes of different sections in rigid test mode (by increments of displacements). It was also found that the critical deformations of wood were theoretically obtained by Grinkrug N.V. based on the analysis of experimental studies of different scientists. This dependence is empirical and depends only on the boundary stresses.



For the first time, we have carried out detailed experimental studies of various conifers (larch, pine, spruce) and hardwood (birch, alder, ash) species of wood for compression along fibers under a single short-term load. Based on these studies, complete wood deformation diagrams were drawn and critical deformations of all the species studied were determined.

A universal formula for theoretical determining of the critical deformations of any species of wood was also obtained. The convergence of our dependence and the function proposed by Grinkrug N.V. is carried out on the basis of experimental data of different authors. Our function has been found to have much better convergence. It was found that the main advantages of our dependence are: simplicity and convenience in calculations, it distinguishes two components (elastic and plastic), is not empirical, depends on the maximum tension and the initial modulus of elasticity; can be used for both coniferous and deciduous wood. And in the future it will be used for all kinds of calculations of elements and structures from wood.

Keywords: timber; critical deformations; tension; diagram; timber species.

## REFERENCES

1. Gomon S.S., Savchuk V.O., Melnyk YU.O., Vereshko O.V. Oblast zastosuvannya ta sposoby modyfikatsiyi kompozytsiynykh materialiv na osnovi derevyny. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Lutsk: LNTU, 2019. Vyp. 12. S. 44-50. [in Ukrainian].
2. Yasniy P.V. et al. Microcrack initiation and growth in heat-resistant 15Kh2MFA steel under cyclic deformation // Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct. Blackwell Science Ltd, 2005. Vol. 28, № 4. P. 391–397. [in English].
3. Yasniy P.V. Plastychno deformovani materialy: vtoma i trishchynotryvkis: monohrafiya. Lviv: Svit, 1998. 292 s. [in Ukrainian].
4. Tuturyn S.V. Mekhanycheskaya prochnost drevesyny: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. – Moskva, 2005. 318s. [in Russian].
5. Varenyk K.A. Raschet tsentralno-szhatykh derevyannykh élementov s uchetom polzuchesty: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Novhorod Velykyy: NHU ym. Yaroslava Mudroho, 2015. 167 s. [in Russian].
6. Gomon S.S., Gomon P.S. Pobudova diysnykh diaqram mekhanichnoho stanu derevyny «s-u» sutsilnoho pererizu yalyny ta berezy za zhorstkoho rezhymu vyprobuvan'. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zb. nauk. prats'. Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2020. Vyp 38. S. 321-330. [in Ukrainian].
7. Grinkrug N.V. Modelirovaniye i raschet elementov derevyannykh konstruktsiy pri khimicheskoy agressivnykh vozdeystviyakh: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Vladivostok: DGTU im. V.V. Kuybysheva, 2004. 202 s. [in Russian].

8. Voronyuk I.S. Uchet niskhodyashchey vetvi diagrammy deformatsiy pri chistom izgibe. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 1983. №4. S. 17-20. [in Russian].

9. Gubenko A.B., Shishkin V.Ye. Issledovaniye nesushchey sposobnosti i zhestkosti derevyannykh elementov s razlichnoy formoy secheniya pri poperechnom izgibe. *Issledovaniya po derevyannym konstruktsiyam*. Sbornik TSNIPS. Moskva: Sroyizdat, 1950. S. 94-148. [in Russian].

10. Kochenov V.M. Nesushchaya sposobnost' elementov i soyedineniy derevyannykh konstruktsiy: monografiya. Moskva: Sroyizdat, 1953. 320 s. [in Russian].

11. Desov A.Ye. Makrostrukturnaya gipoteza prochnosti betona pri szhatii i rezul'taty yeye eksperimental'noy proverki. *Izvestiye vuzov: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 1972 №7. S.320-327. [in Russian].

12. Sheykin A.Ye. K voprosu prochnosti, uprugosti i plastichnosti betona. *Stroitel'naya mekhanika i mosty*. Moskva: Transzheldorizdat, 1946. Vypusk 69. S. 48-52. [in Russian].

13. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads // AIP Conference Proceedings 2077, 020020 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091881>.

14. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending // AIP Conference Proceedings 2077, 020019 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5091880>. [in English].

15. Gomon S., Gomon S., Gomon P., Pavluk A., Sobczak-Piastka J. Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads // AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5091882>. [in English].

16. Jockwer R., Streiger R., Flangi A. State-of-the-art review of approaches for the design of timber beams with notches *Journal of Structural Engineering (United States)* (2014). DOI: [10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000838](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000838). [in English].

17. Gomon S., Pavluk A. Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending, *Underwater technologies*, 7 (2017), 42-48. DOI: [10.26884/1707.1801](https://doi.org/10.26884/1707.1801). [in English].