

Гомон Св. Св., д.т.н., професор, Гомон С. С., д.т.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

Наведено методику експериментальних досліджень клеєної деревини листяних та хвойних порід осьовим стиском уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань на сучасному випробувальному обладнанні. Побудовано повні (дійсні) діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » клеєної деревини листяних та хвойних порід. Експериментальним та теоретичним шляхом встановлено критичні відносні деформації таких матеріалів. Запропоновано формулу для визначення критичних відносних деформацій клеєної деревини, яка включає пружну та пластичну складові. Встановлено, що для критичних відносних деформацій, які визначені теоретичним шляхом, відбувається характерне несуттєве збільшення та зменшення значень в порівнянні з суцільною деревиною вологістю 12% віком 60 років. Таким же чином спостерігається зміна деформацій пружної складової функції, а от пластична складова значно збільшується на 3,9–41,3%. Наведено статистичний аналіз проведених досліджень.

Ключові слова: клеєна деревина; критичні деформації; стиск уздовж волокон; напруження; статистичний аналіз.

Вступ. Клеєна деревина застосовується в багатьох галузях промисловості, в тому числі і будівництві. Зокрема, це стосується матеріалів, виробів, елементів та конструкцій, які використовуються в цивільному та промисловому будівництві та реконструкції різних об'єктів. Основною перевагою деревини, зокрема і клеєної, є те, що це природний пружно-пластичний матеріал, який має досить високу міцність, легко обробляється та має багато інших переваг. З іншої сторони ми маємо знати дійсні фізико-механічні властивості, щоб правильно використовувати без його зайвої витрати. Щоб визначити деякі з таких характеристик, необхідно випробовувати такі матеріали на сучасних випробувальних машинах, в тому числі визначаючи

деформативні показники.

Аналіз останніх публікацій. Клеєна деревина досить широко застосовується в будівництві. Проведено досить велику кількість експериментально-теоретичних досліджень матеріалів, елементів та конструкцій з клеєної деревини [1–4]. Більшість цих досліджень [1–3] стосувалися визначення міцнісних і деформівних показників в так званій докритичній стадії роботи (м'який режим випробувань), оскільки обладнання в більшості випадків не дозволяло випробувати зразки за жорсткого режиму (в закритичній стадії роботи).

Якщо закритичні показники суцільної деревини ми можемо знайти ще в деяких наукових працях [5; 6], в тому числі і наших [7–10], то для клеєної вони взагалі відсутні. Особливо, це стосується деформативних показників, в тому числі критичних деформацій.

Мета роботи – це експериментально-теоретичні дослідження критичних деформацій клеєної деревини листяних та хвойних порід.

Методика експериментальних досліджень. Для експериментальних досліджень були вибрані наступні породи клеєної деревини: хвойні – модрина, сосна, ялина; листяні – береза, вільха, ясен. Зразки виготовлялись з дерев, які вирощувались в різних регіонах України, зокрема сосна, ялина, вільха – в лісах Рівненської області; береза, ясен – Волинської області; модрина – Івано-Франківської області. Дерева вибирались приблизно віком 60 років. Після зрізу, дерева транспортувались до підприємств деревообробної промисловості та розділялись на кряжі, потім розрізались на бруски. Висушування заготовок деревини проводили у спеціальних висушувальних камерах до стандартної вологості 12%. Після досягнення брусками стандартної вологості, вони розпилювались на дошки. Потім дошки склеювались за допомогою резорцинового клею і розпилювались на зразки перерізом 30x30x120 мм (рис. 1). Всі породи деревини були без вад і пошкоджень. Загальна кількість зразків – 36 шт.

Експериментальні дослідження проводились на сервогідроліній випробувальній машині СТМ-100 [11] за жорсткого режиму випробувань (за приростом переміщень пресу випробувальної машини) осьовим стиском уздовж волокон.

Навантаження зразків проводилося і контролювалося за допомогою комп'ютера та відповідного програмного забезпечення.

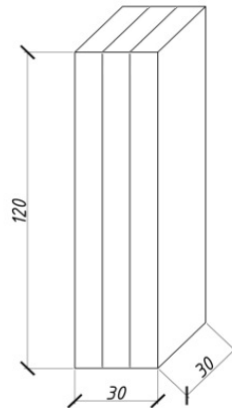
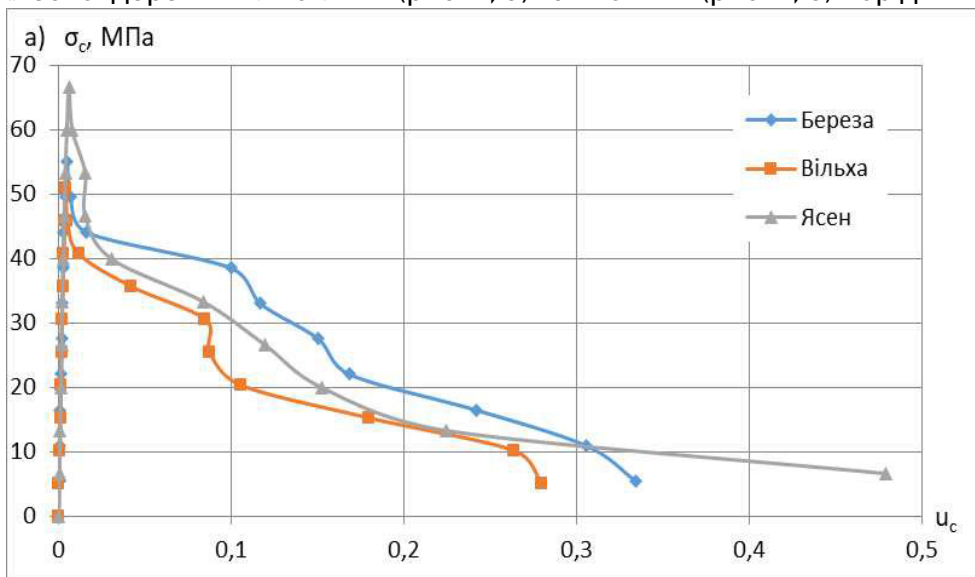


Рис. 1. Геометричні розміри зразка

Результати експериментально-теоретичних досліджень. За результатами експериментальних досліджень побудовано реальні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » клеєної деревини листяних (рис. 2, а) та хвойних (рис. 2, б) порід.



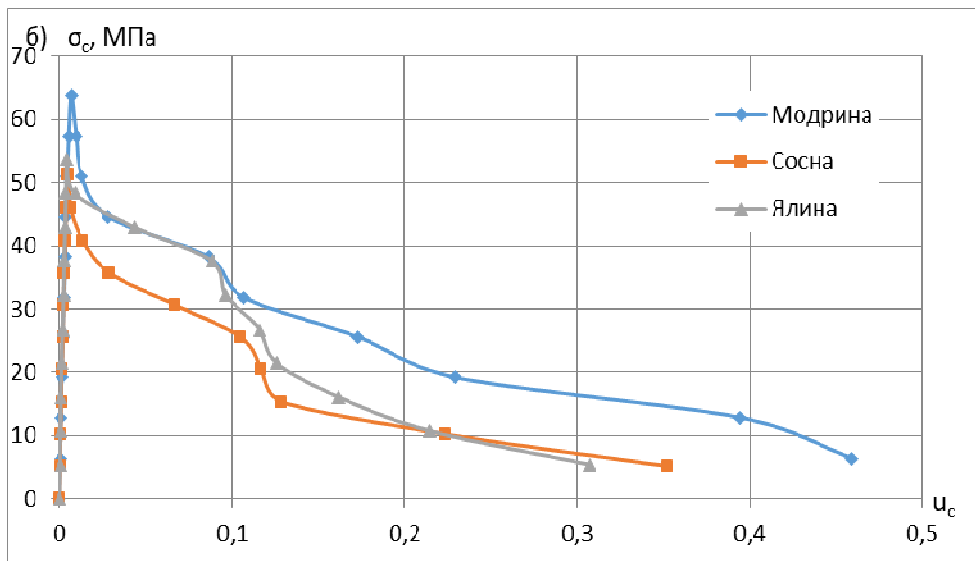


Рис. 2. Дійсні (повні) діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » клеєної деревини різних порід: а) листяних; б) хвойних

На основі експериментальних досліджень та повних діаграм деформування «напруження – деформації» (рис. 3, а, рис. 3, б) клеєної деревини визначаємо критичні деформації $u_{c,0,d,exp}$ всіх зразків окремо для кожної породи (верхня точка діаграми). Усередненні значення критичних деформацій заносимо до табл. 1.

Таблиця 1

Значення експериментальних та теоретичних показників усереднених критичних деформацій клеєної деревини

№ з/п	Порода деревини	$f_{c,0,d}$, МПа	E_0 , МПа	$u_{c,0,d,exp}$	$u_{c,el,th}$	$u_{c,pl,th}$	$u_{c,0,d,th}$
1	Береза	55,0	15600	0,00493	0,00362	0,00180	0,00542
2	Вільха	50,9	15800	0,00435	0,00322	0,00154	0,00476
3	Ясен	66,6	18300	0,00590	0,00363	0,00265	0,00628
4	Модрина	63,8	16900	0,00672	0,00378	0,00242	0,00619
5	Сосна	52,2	14800	0,00516	0,00353	0,00162	0,00515
6	Ялина	53,7	16200	0,00453	0,00332	0,00171	0,00503

Отже, величину критичних відносних деформацій деревини пропонується визначати за сумою відносних пружних та пластичних деформацій за формулою

$$u_{c,0,d} = u_{c,el} + u_{c,pl}, \quad (1)$$

де $u_{c,el}$ – відносна пружна деформація клеєної деревини;
 $u_{c,pl}$ – відносна пластична деформація клеєної деревини.

Враховуючи [9] та наші експериментальні дослідження формула (1) набуде вигляду

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_0 + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2, \quad (2)$$

де E_0 – початковий модуль пружності клеєної деревини;
 c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку клеєної деревини, ($c_1 = 5,94 \cdot 10^{-7}$ (МПа)⁻²).

Таким чином значення критичних деформацій, визначених за формулою (2), мають наступні показники (табл. 1): $u_{c,0,d,th}=0,00542$; вільхи $u_{c,0,d,th}=0,00476$; ясена – на 8,4% $u_{c,0,d,th}=0,00542$; модрина $u_{c,0,d,th}=0,00619$; $u_{c,0,d,th}=0,00515$; ялини $u_{c,0,d,th}=0,00503$.

Також було визначено пружну та пластичну складові критичних деформацій за функцією (2) (табл. 1), оскільки дана формула дозволяє це зробити.

Для критичних відносних деформацій, які визначені теоретичним шляхом, відбувається характерне несуттєве збільшення та зменшення значень в порівнянні з суцільною деревиною вологістю 12% віком 60 років [9]. Таким же чином спостерігається зміна деформацій пружної складової функції (2), а от пластична складова значно збільшується на 3,9–41,3%.

Проведемо статистичний аналіз отриманих експериментальних та теоретичних результатів досліджень за всіма 36-ма зразками хвойних та листяних порід клеєної деревини (табл. 2), (рис. 3).

Таблиця 2

Статистична оцінка формули (2) з визначення критичних деформацій клеєної деревини хвойних та листяних порід

Формула для визначення критичних деформацій	Відхилення від експериментальних значень, %				
	$\Delta_{u,1}$	$\Delta_{u,2}$	Δ_u	σ_u	$\Delta_{u,max}$
$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_c + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2$, де $c_1 = 5,94 \cdot 10^{-7}$ (МПа) ⁻²	-23,26	19,68	0,51	14,69	23,26
36 зразків. $\Delta_{u,1}$, $\Delta_{u,2}$ – нижня та верхня межі відхилень від експериментальних значень; Δ_u , σ_u – середньоарифметичні та стандартні значення цих відхилень; $\Delta_{u,max}$ – максимальне з $\Delta_{u,1}$ і $\Delta_{u,2}$.					

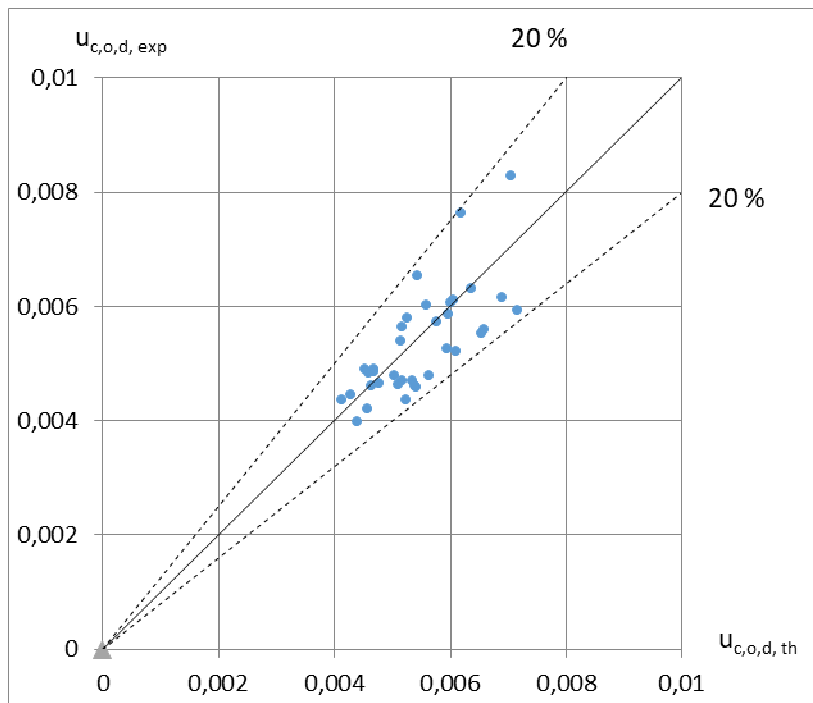


Рис. 3. Відхилення експериментальних значень критичних деформацій від теоретичних за формулою (2) клеєної деревини листяних та хвойних порід

Отже, аналізуючи рис. 3 та табл. 2 приходимо до висновку, що збіжність теоретичних та експериментальних значень критичних деформацій є задовільною незалежно від породи деревини. Максимальна розбіжність складає $\Delta_{u,max}=23,26\%$.

Висновки: 1) наведено методику експериментальних досліджень клеєної деревини листяних та хвойних порід осьовим стиском уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань на сучасному випробувальному обладнанні;

2) побудовано повні (дійсні) діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » клеєної деревини листяних та хвойних порід;

3) експериментальним та теоретичним шляхом встановлено критичні відносні деформації таких матеріалів;

4) запропоновано формулу для визначення критичних відносних деформацій клеєної деревини, яка включає пружну та пластичну складові;

5) встановлено, що для критичних відносних деформацій, які визначені теоретичним шляхом, відбувається характерне несуттєве

збільшення та зменшення значень в порівнянні з суцільною деревиною вологістю 12% віком 60 років. Таким же чином спостерігається зміна деформацій пружної складової функції, а от пластична складова значно збільшується на 3,9–41,3%;

б) наведено статистичний аналіз проведених досліджень.

1. Кліменко В. З. Розрахунок елементів із клеєної деревини на поздовжньо-поперечний згин. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2013. № 3. С. 39–45.
2. Михайловський Д. В., Коваленко М. С., Матющенко Д. М. Аналіз техніко-технологічних властивостей клеєної деревини як перспективного матеріалу для будівельних конструкцій. *Чернігівський науковий часопис. Сер. Техніка і природа*. Чернігів, 2011. № 2. С. 122–127.
3. Фурсов В. В., Пурязданха М. Экспериментальное исследование натуральных балок из клееной древесины. *Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського* : зб. наук. праць. Київ, 2013. № 12. С. 71–77.
4. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement / Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. *Buildings*. 2020. 10 (5), 92.
5. Da Silva, A., Kyriakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*. 2020. 44(25–26), 8685–8717.
6. Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: experimental investigation and analytical study / Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. *Bio Resources*. 2018. 13(1), 131–146.
7. Yasniy P., Gomon S., Gomon P. On Approximation of Mechanical Condition Diagrams of Coniferous and Deciduous Wood Species on Compression Along the Fibers. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University / Ternopil Ivan Puluj National Technical University*. 2020. Тернопіль : ТНТУ, 2020. № 1(97). С. 57–64. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2020.01 (дата звернення: 10.03.2022).
8. Гомон С., Гомон П., Караван В. Експериментальні дослідження хвойних та листяних порід деревини одноразовим короткочасним навантаженням на стиск уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура та сільськогосподарське будівництво*. Львів : ЛНАУ, 2020. № 21. С. 34–40.
9. Гомон С. С., Гомон П. С., Верешко О. В. До визначення критичних деформацій хвойних та листяних порід деревини. *Містобудування та територіальне планування*. Київ : КНУБА, 2020. Вип. 73. С. 78–87.
10. Гомон С. С. Визначення критичних деформацій різних порід деревини вирощених на території України та за її межами. *Sciences of Europe*. Praha, 2020. No 54. Vol. 1. Pp. 36–41.
11. Homon Sv. Sv., Savchuck V. O., Melnyk Yu. A., Vereshko O. V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*. Lutsk, 2020. Vol. 14. Pp. 73–80.

REFERENCES:

1. Klimenko V. Z. Rozrakhunok elementiv iz kleienoi derevyny na pozdovzhno-poperechnyi zghyn. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*. 2013. № 3. S. 39–45.
 2. Mykhailovskyi D. V., Kovalenko M. S., Matiushchenko D. M. Analiz tekhniko-tekhnologichnykh vlastyvostei kleienoi derevyny yak perspektyvnoho materialu dlia budivelnykh konstrukttsii. *Chernihivskiyi naukovyi chasopys. Ser. Tekhnika i pryroda*. Chernihiv, 2011. № 2. S. 122–127.
 3. Fursov V. V., Puryzdanhah M. Eksperimentalnoe issledovanie naturnyih balok iz kleenoy drevesinyi. *Ukrainskoho naukovo-doslidnoho ta proektnoho instytutu stalevykh konstrukttsii imeni V.M. Shymanovskoho* : zb. nauk. prats. Kyiv, 2013. № 12. S. 71–77.
 4. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement / Sobczak-Piąstka J., Gomon S. S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. *Buildings*. 2020. 10 (5), 92.
 5. Da Silva, A., Kyriakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*. 2020. 44(25–26), 8685–8717.
 6. Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: experimental investigation and analytical study / Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. *Bio Resources*. 2018. 13(1), 131–146.
 7. Yasniy P., Gomon S., Gomon P. On Approximation of Mechanical Condition Diagrams of Coniferous and Deciduous Wood Species on Compression Along the Fibers. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University / Ternopil Ivan Puluj National Technical University*. 2020. Ternopil : TNTU, 2020. № 1(97). S. 57–64. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2020.01 (data zvernennia: 10.03.2022).
 8. Homon S., Homon P., Karavan V. Eksperymentalni doslidzhennia khvoynykh ta lystianykh porid derevyny odnorazovym korotkochasnym navantazhenniam na stysk uzdovzh volokon za zhorstkoho rezhymu vyprobuvan. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Arkhitektura ta silskohospodarske budivnytstvo*. Lviv : LNAU, 2020. № 21. S. 34–40.
 9. Homon S. S., Homon P. S., Vereshko O. V. Do vyznachennia krytychnykh deformatsii khvoynykh ta lystianykh porid derevyny. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*. Kyiv : KNUBA, 2020. Vyp. 73. S. 78–87.
 10. Homon S. S. Vyznachennia krytychnykh deformatsii riznykh porid derevyny vyroshchenykh na terytorii Ukrainy ta za yii mezhamy. *Sciences of Europe*. Praha, 2020. No 54. Vol. 1. Pp. 36–41.
 11. Homon Sv. Sv., Savchuck V. O., Melnyk Yu. A., Vereshko O. V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Modern Technologies and Methods of Calculations in Construction*. Lutsk, 2020. Vol. 14. Pp. 73–80.
-

Homon S. S., Doctor of Engineering, Professor, Gomon S. S., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES OF CRITICAL DEFORMATIONS GLUED WOOD

A detailed analysis of literature sources on the performance of glued wood under various types of load was carried out. It was established that there are no experimental and theoretical studies of critical deformations of glued wood at standard humidity.

The methodology of experimental studies of laminated wood of deciduous and coniferous species by axial compression along the fibers under a strict regime of tests on modern testing equipment is given. The following types of wood were subjected to experimental research: birch, alder, ash, larch, pine, spruce. The moisture content of the wood at the time of testing was 12%. Experimental studies were carried out on a modern STM-100 testing machine. The rate of deformation was 1.5 mm/min. A total of 36 samples were tested. Complete (valid) deformation diagrams "stress σ_c – relative deformations u_c " of glued hardwood and softwood were constructed. The critical relative deformations of such materials were determined experimentally and theoretically. A formula for determining the critical relative deformations of glued wood is proposed, which includes elastic and plastic components. It was established that for the critical relative deformations, which are determined theoretically, there is a characteristic insignificant increase and decrease of the values in comparison with solid wood with a moisture content of 12% and an age of 60 years. In the same way, a change in the deformations of the elastic component of the function is observed, while the plastic component significantly increases by 3.9–41.3%. A statistical analysis of the conducted research is presented.

***Keywords:* glued wood; critical deformations; compression along the fibers; stresses; statistical analysis.**
