

ДИНАМІКА ЗМІНИ КРИТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ДЕРЕВИНИ З РІЗНИМ ПОКАЗНИКОМ ВОЛОГОСТІ

DYNAMICS OF CHANGE CRITICAL DEFORMATIONS OF WOOD WITH DIFFERENT HUMIDITY INDICATOR

Ясній П.В., д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-1928-7035 (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна), **Гомон Св.Св.**, д.т.н., доц., ORCID 0000-0001-9818-1804 (Національний університет водного господарства та природокористування, Україна, м. Рівне)

Yasniy P.V., doctor of technical sciences, professor (Ternopil Ivan Puluj National Technical University), **Homon S.S**, doctor of technical sciences, associate professor (National university of water and environmental engineering, Rivne)

Наведено методику визначення відносних критичних деформацій суцільної деревини листяних та хвойних порід за різних показників вологості осьовим стиском уздовж волокон. Запропоновано формулу для визначення відносних критичних деформацій суцільної деревини за різної вологості, яка включає пружну та пластичну складові. З'ясовано, що запропонована формула дає хорошу збіжність з експериментальними значеннями. Наведено динаміку зміни критичних відносних деформацій за різної вологості, а також її складових – пружну та пластичну. Встановлено, що сушіння деревини від 30 до 12% зменшує її деформівність. Виявлено, що пластична складова відносних критичних деформацій зменшується при висушуванні деревини від 30 до 12%, а пружна – навпаки зростає.

The analysis of literature publications on determination of relative critical deformations of continuous wood on compression along fibers at short-term loading is carried out. It is established that in the literature, in fact, there are no methods for studying such parameters with different humidity, except for some works Grinkrug NV It was found that the critical relative deformations can be determined experimentally only when testing samples under a rigid test mode. Such studies were conducted at different humidity on modern test equipment and established the true values of critical relative deformations of deciduous (birch, alder, ash) and coniferous (larch, pine, spruce) wood species. The method of determination of relative critical deformations of solid wood of deciduous and coniferous breeds at different indicators of humidity

by axial compression along fibers is given. A formula for determining the relative critical deformations of solid wood at different humidity, which includes elastic and plastic components, is proposed. This formula is not empirical in nature and depends on the humidity and age of solid wood. The proposed formula was found to be in good agreement with the experimental values. The dynamics of change of critical relative deformations at different humidity of all studied wood species, as well as its components - elastic and plastic - are given. It is established that drying of wood from 30 to 12% reduces its deformability. It was found that the plastic component of relative critical deformations decreases with wood drying from 30 to 12%, and the elastic component increases on the contrary. In the future it is necessary to determine the relative critical deformations of glued and modified wood of different deciduous and coniferous species experimentally and theoretically, as well as to determine the elastic and plastic components.

Ключові слова:

Деревина, напруження, критичні деформації, діаграми, вологість, стиск.
Timber, tension, critical deformations, diagrams, humidity, compression.

Вступ. Деревина після зрубу має дуже великі показники вологості. Після сушіння в природних чи примусових умовах даний показник звичайно зменшується. При цьому механічні властивості деревини змінюються. Вона може експлуатуватися за різних показників вологості в таких галузях народного господарства, як промислове, цивільне, гідротехнічне та сільськогосподарське будівництво, суднобудування, гірничо-видобувна промисловість, мостобудування та багато інших. В багатьох випадках матеріали, елементи та конструкції з суцільної деревини листяних та хвойних порід досягають критичних деформацій та можуть працювати в закритичній стадії роботи. Оскільки деревина є пружно-пластичним матеріалом, то важливо визначати окремо пластичну та пружну складові відносних деформацій. Водночас необхідно встановлювати зміну цих двох складових за різних показників вологості, що дасть можливість більш широко розкрити механічні властивості деревини.

Аналіз останніх досліджень. Експериментальними та теоретичними дослідженнями суцільної деревини за різної вологості займалися такі закордонні та вітчизняні вчені, як Madsen B. [1], Mårtensson A. [2], Бойко М.Д. [3], Боровиков А.М. [4] та інші. Більшість даних досліджень стосувалися впливу вологості на міцнісні характеристики деревини. І практично відсутні про динаміку зміни деформівних параметрів. В деяких роботах вітчизняних та закордонних вчених ми знаходимо експериментальні значення критичних деформацій деревини за стандартної вологості [5-8]. Вони різняться між собою навіть при одній і тій же самій породі деревини. І тільки в роботі [9] запропонована формула для визначення критичних

деформацій деревини за стандартної вологості 12%, яка носить емпіричний характер та основана на результатах експериментальних досліджень інших вчених

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

де $f_{c,0,d}$ – максимальні напруження суцільної деревини.

З іншої сторони формула (1) не містить пружної та пластичної складової.

В попередніх роботах нами було запропоновано визначення критичних деформацій з врахуванням цих складових за стандартної вологості для хвойних та листяних порід суцільної деревини [10,11], яка була апробована більше як на 100 породах деревин, які вирощені на території різних країн Європи та Північної Америки.

В даній статті ми хочемо запропонувати методику визначення критичних деформацій з різним показником вологості, включаючи пружну та пластичну складові, та показати динаміку зміни деформівності.

Мета роботи – розробка методики визначення критичних деформацій суцільної деревини листяних та хвойних порід за різної вологості з врахуванням пружних та пластичних складових на стиск уздовж волокон.

Методика досліджень та результати. Критичні відносні деформації експериментальним шляхом можливо визначити тільки при випробуванні зразків за жорсткого режиму випробувань. Такі дослідження нами були проведені за різної вологості [12] і ми встановили істинні значення критичних відносних деформацій листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрини, сосни, ялини) порід деревини (рис.1).

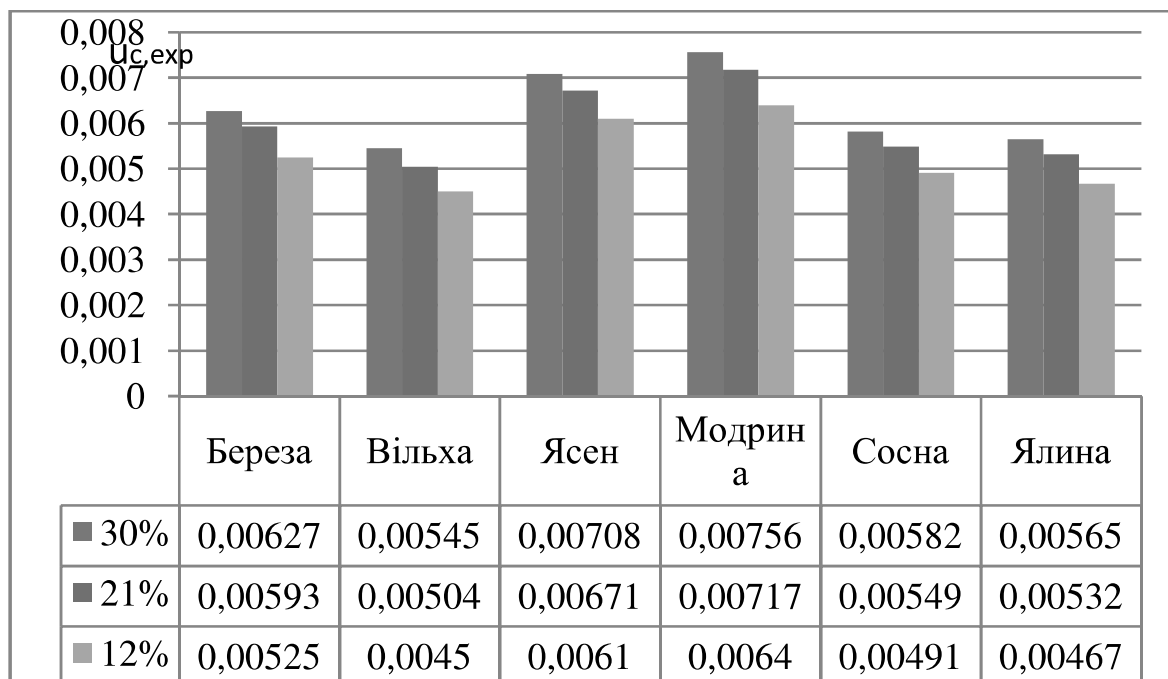


Рис.1. Динаміка зміни експериментальних критичних деформацій листяних та хвойних порід деревини за різних показників вологості

Було встановлено, що при висушуванні деревини від 30 до 12% деформівні показники зменшуються.

Тепер визначимо критичні деформації теоретичним шляхом. Відносні критичні деформації пропонується визначати за формулою (2), виділяючи при цьому пружну та пластичну складові

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

де $u_{c,el}$ – відносна пружна деформація суцільної деревини;

$u_{c,pl}$ – відносна пластична деформація суцільної деревини.

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

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_0 + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2, \quad (3)$$

де E_0 – початковий модуль пружності суцільної деревини;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку суцільної деревини.

Послідовно за формулою (3) визначимо відносні критичні деформації суцільної деревини всіх досліджуваних порід відповідно за вологості 30, 21 та 12% та окремо пружні та пластичні складові (табл. 1). При цьому коефіцієнт c_1 становить для будь-яких листяних та хвойних порід вологістю:

- 30% - $c_1 = 8,70 \cdot 10^{-6} \text{ (МПа)}^{-2}$;
- 21% - $c_1 = 2,69 \cdot 10^{-6} \text{ (МПа)}^{-2}$;
- 12% - $c_1 = 6,55 \cdot 10^{-7} \text{ (МПа)}^{-2}$.

Таблиця 1

Значення критичних деформацій деревини за різної вологості

№ _{п/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	2	3	4	5	6	7	8
Вологість 30 %							
1	Береза	19,8	10000	0,00627	0,00198	0,00341	0,00539
2	Вільха	21,5	7500	0,00545	0,00287	0,00402	0,00689
3	Ясен	31,0	13600	0,00708	0,00228	0,00660	0,00888
4	Модрина	24,8	10600	0,00756	0,00182	0,00587	0,00769
5	Сосна	21,3	9700	0,00582	0,00220	0,00394	0,00614
6	Ялина	19,4	10700	0,00565	0,00181	0,00328	0,00509
Вологість 21 %							
7	Береза	29,5	10900	0,00593	0,00271	0,00234	0,00505
8	Вільха	26,3	8800	0,00504	0,00299	0,00186	0,00485
9	Ясен	37,4	14700	0,00671	0,00254	0,00377	0,00631
10	Модрина	38,9	12000	0,00717	0,00324	0,00407	0,00731
11	Сосна	29,4	11000	0,00549	0,00267	0,00233	0,00500
12	Ялина	30,6	12100	0,00532	0,00253	0,00252	0,00505

1	2	3	4	5	6	7	8
Вологість 12 %							
13	Береза	46,1	12300	0,00525	0,00375	0,00139	0,00514
14	Вільха	40,8	11700	0,00450	0,00349	0,00109	0,00458
15	Ясен	57,7	16000	0,00610	0,00361	0,00218	0,00579
16	Модрина	59,7	13700	0,00641	0,00436	0,00233	0,00669
17	Сосна	45,3	12900	0,00515	0,00351	0,00134	0,00485
18	Ялина	43,6	14400	0,00467	0,00303	0,00124	0,00427

Також покажемо динаміку зміни відносних критичних деформацій визначених за формулою (3) (рис.2).

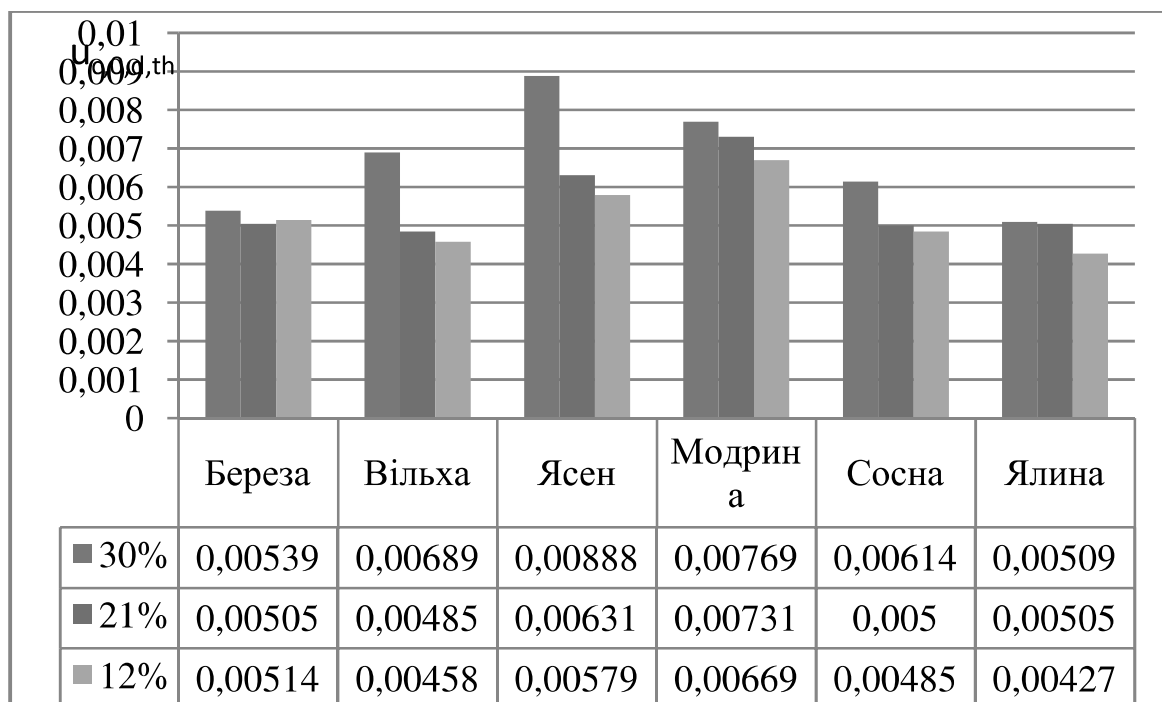


Рис.2. Динаміка зміни відносних критичних деформацій листяних та хвойних порід деревини за різного показника вологості визначених за формулою (3)

Наведемо збіжність експериментальних та теоретичних відносних критичних деформацій визначених за формулою (3) (рис.3). Збіжність результатів знаходиться в межах 15%. Для вологості 30 і 12% збіжність також є задовільною і має приблизно такі ж показники.

Так, як і за експериментальних досліджень, критичні деформації суцільної деревини всіх досліджуваних порід за вологості від 30 до 12% (рис.3, табл.1), які визначені за формулою (3), також зменшуються, тільки з дещо іншим інтервалом.

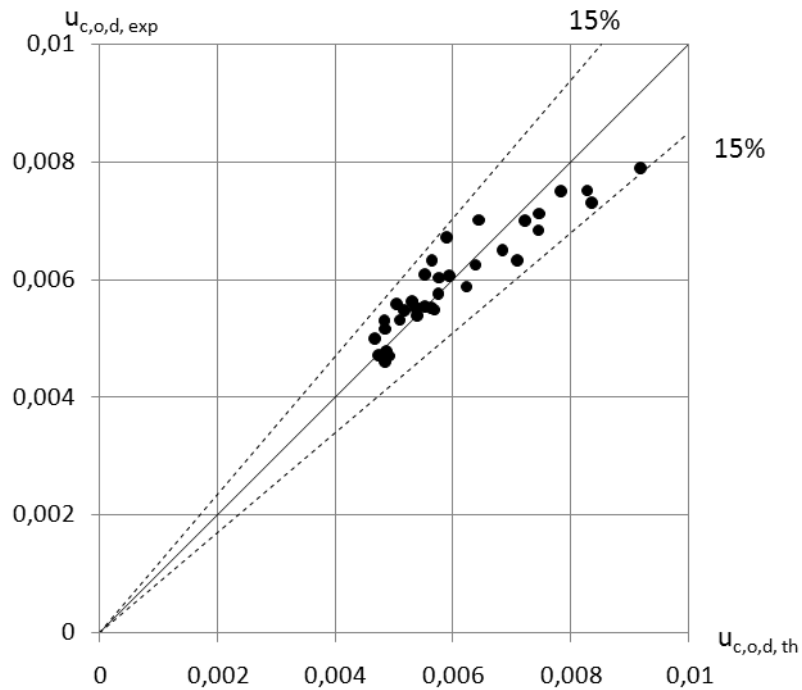


Рис.3. Відхилення експериментальних значень критичних деформацій від теоретичних за формулою автора (3) суцільної деревини листяних та хвойних порід вологістю 21%

Оскільки формула (3) дає змогу визначити пружну та пластичну складові критичних відносних деформацій за різної вологості, то наведемо такі значення (рис.4, 5, табл.1).

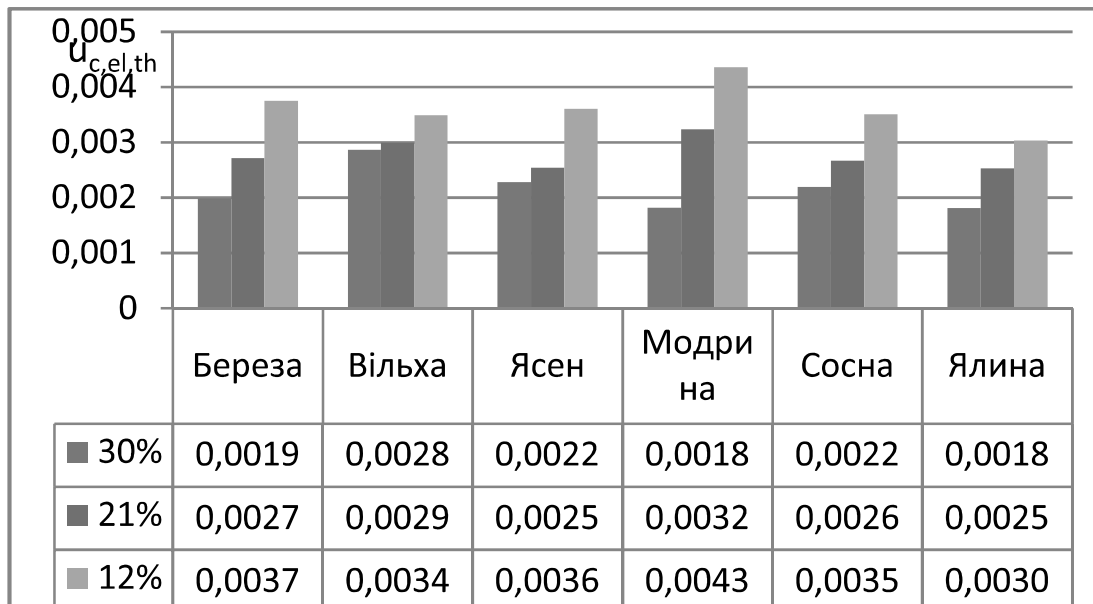


Рис.4 Динаміка зміни пружної складової відносних критичних деформацій листяних та хвойних порід деревини за різного показника вологості визначених за формулою (3)

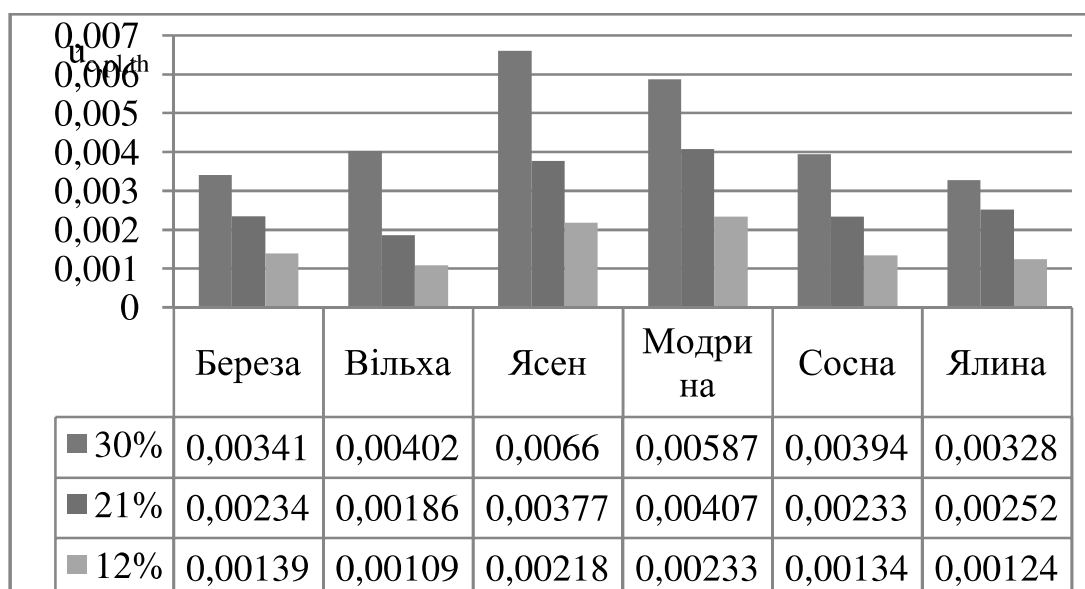


Рис.5. Динаміка зміни пластичної складової критичних деформацій листяних та хвойних порід деревини за різного показника вологості визначених за формулою (3)

Дуже цікавим фактом є те, як змінюється пружна та пластична складові відносних критичних деформацій за різної вологості (рис.4, рис.5 , табл.1). Отже, пружна складова збільшується зі зменшенням вологості, а пластична – навпаки. При цьому за вологості 21% вони є практично рівними за значенням.

Висновки.

1. Вперше наведено методику визначення відносних критичних деформацій суцільної деревини листяних та хвойних порід за різних показників вологості осьовим стиском уздовж волокон.

2. Запропоновано формулу для визначення відносних критичних деформацій суцільної деревини листяних та хвойних порід за різних показників вологості, яка включає пружну та пластичну складові.

3. З'ясовано, що запропонована формула дає хорошу збіжність з експериментальними значеннями.

4. Наведено динаміку зміни критичних відносних деформацій за різної вологості, а також її складові – пружну та пластичну.

5. Встановлено, що сушіння деревини від 30 до 12% зменшує її деформівність.

6. Виявлено, що пластична складова відносних критичних деформацій зменшується при висушуванні деревини від 30 до 12%, а пружна – навпаки зростає.

1. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. Can. J. Civil Engineering. 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.

2. Mårtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.

3. Бойко М.Д. Влияние температурно-влажностного состояния древесины на ее прочность. М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1952. 96 с.

Boyko M.D. Vliyaniye temperaturno-vlazhnostnogo sostoyaniya drevesiny na yeye prochnost'. M.: Gos. izd-vo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture, 1952. 96 s.

4. Боровиков А.М. Влияние температуры и влажности на упругость, вязкость и пластичность древесины: дис. канд. техн. наук: 05.21.05. Воронеж, 1970. 310 с.

Borovikov A.M. Vliyaniye temperatury i vlazhnosti na uprugost', vyazkost' i plastichnost' drevesiny: dis. kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Voronezh, 1970. 310 s.

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

Tuturin S.V. Mekhanicheskaya prochnost' drevesiny: dis. dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. – Moskva, 2005. 318s.

6. 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.

Varenik K. A. Raschet tsentral'no-szhatikh derevyannykh elementov s uchetom polzuchesti: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Novgorod Velikiy: NGU im. Yaroslava Mudrogo, 2015. 167 s.

7. Da Silva A, Kyrakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 44. Issues 25–26. P. 8685–8717.

8. Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: experimental investigation and analytical study. *Bio Resources*, 2018. 13(1). P. 131–146.

9. Гринкруг Н.В. Моделирование и расчет элементов деревянных конструкций при химических агрессивных воздействиях: дисс. канд. техн. наук, 05.23.01. Владивосток, 2004. 202 с.

Grinkrug N.V. Modelirovaniye i raschet elementov derevyannykh konstruktsiy pri khimicheskikh agressivnykh vozdeystviyakh: diss. kand. tekhn. nauk, 05.23.01. Vladivostok, 2004. 202 s.

10. Гомон Св.Св., 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.

Gomon Sv.Sv., Gomon P.S., Vereshko O.V. Do vyznachennya krytychnykh deformatsiy khvoynykh ta lystyanykh porid derevyny. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyuyiv: KNUBA, 2020. Vyp. 73. S.78–87.

11. Homon S.S. Determination of critical deformations of different breeds of timber grown on the territory of Ukraine and abroad. *Sciences of Europe*. Praha, 2020. No 54. Vol.1.Pp. 36–41.

12. 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.

Yasniy P.V., Homon S.S. Eksperymental'ni doslidzhennya sutsil'noyi derevyny konstruktsiynykh rozmiriv z vrakhuvannyam faktora volohosti. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Vinnytsya: VNTU, 2020. Tom 28. №1. S. 41–48.