

КЛАСИЧНА МОДЕЛЬ ДІЙНОЇ РОБОТИ СУЦІЛЬНОЇ ДЕРЕВИНИ НА СТИСК УЗДОВЖ ВОЛОКОН ЗА КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

CLASSICAL MODEL OF ACTUAL WORK OF SOLID TIMBER FOR COMPRESSION ALONG FIBERS WITH SHORT-TERM LOADING

Ясній П.В., д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-1928-7035 (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна), **Гомон Св.Св., к.т.н., доц., докторант,** 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, candidate of technical sciences, associate professor** (National university of water and environmental engineering, Rivne)

Запропоновано класичну модель дійсної роботи суцільної деревини на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження. Встановлено чотири характерні ділянки роботи деревини (дві на висхідній вітці та дві на спадній). Запропоновано теоретичне визначення основних міцнісних та деформівних параметрів повної діаграми деформування деревини.

A detailed analysis of the literature on the issues under consideration, both in soft and hard mode of testing solid timber for compression along the fibers under short-term load. It is established that the rigid mode of application of loading allows to construct the full diagram of deformation of timber of deciduous and coniferous breeds. The classical model of real work of continuous wood on compression along fibers at short-term loading is offered. There are four characteristic areas of timber (two on the ascending branch and two on the descending one). The diagram of timber deformation under the action of longitudinal compression can be divided into four characteristic sections: two subcritical and two supercritical. The first section is subcritical - the initial stage of the sample is characterized by a significant distortion of the diagram, which is affected by the deformation of the end compression of the sample and is in the range $\eta = 0$ to $\eta = 0.15 - \eta = 0.25$ from the maximum stress. The second section is also subcritical from the completion of the first section to the onset of critical relative deformations. On the descending branch there are two different areas. The third section is the beginning of the descending branch, which is characterized by a rapid decrease in the strength

of timber, and to the extreme relative deformations of timber. The fourth section from the ultimate relative deformations of timber to the complete destruction of the material. The theoretical definition of the main strength and deformable parameters of the complete diagram of timber deformation is offered.

Ключові слова:

Деревина, напруження, деформації, діаграми, модель, стиск.
Timber, loadings, deformations, diagrams, model, compression.

Вступ. З одного боку деревина є природним відновлювальним універсальним матеріалом, який використовується фактично у всіх галузях народного господарства. З іншого – це матеріал із дуже складною будовою та своїми специфічними фізико-механічними властивостями. Величезна кількість вчених всього світу намагалися, намагаються і будуть намагатися ще довго років дослідити і встановити дійсний напружено-деформований стан суцільної деревини та поведінку її роботи за різних видів навантаження. Перед дослідниками постало важливе завдання – дослідження таких матеріалів від початку завантаження і до повного руйнування за різних видів навантаження (дійсна робота матеріалу), в тому числі і за стиску уздовж волокон. Звичайно, дане питання можливо вирішити тільки при проведенні експериментальних досліджень деревини за жорсткого режиму випробувань та побудові реальних діаграм деформування « σ - u ». Тобто, робота матеріалу, як в докритичній стадії (висхідна вітка діаграми « σ - u »), так і в закритичній (спадна вітка). Аналіз саме за таких умов роботи, на нашу думку, дасть можливість більш широко і повно розкрити напружено-деформований стан різних порід деревини та встановити їх реальну роботу за різних видів навантаження.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню фізико-механічних властивостей суцільної деревини присвячено величезну кількість робіт вітчизняних та закордонних вчених. Нас цікавить ряд робіт, які пов'язані з роботою деревини на стиск уздовж волокон, і зокрема, з дослідженням її міцнісних та деформівних характеристик, а також побудовою діаграм « σ - u » за експериментальними даними та аналітичними залежностями.

Донедавна експериментальні дослідження деревини можливо було проводити тільки за так званого «м'якого» режиму випробувань [1,2], тобто роботу такого матеріалу досліджували тільки до певної точки висхідної вітки діаграми « σ - u » (рис.1) (за приростом навантажень), що не дозволяло достеменно вивчити міцнісні та деформівні показники на вершині даної діаграми, не кажучи про спадну вітку. З плином часу преси старого виробництва почали удосконалювати за допомогою додаткового обладнання, внаслідок чого українські вчені Гомон Св.Ст., Сасовський Т.А. [3] отримали

повну діаграму деформування деревини сосни « σ - u » з обмеженням в точці граничних деформацій.

В кінці минулого століття закордонні інженери винайшли установки, які дозволяють будувати такі діаграми для різного роду матеріалів за різних видів навантажень від початку завантаження і до руйнування (за приростом деформацій – жорсткий режим випробувань) [4]. Експериментальним дослідженням різних порід деревини на стиск уздовж волокон (за приростом переміщень) присвячені роботи таких зарубіжних вчених як Тутурин С.В. [5] (сосни), Вареника К.А. [6] (сосни), Копаницы Д.Г. [7] (сосни), Da Silva A., Kyrakides S. [8] (бальзи) та наших [9,10,11] (берези, вільхи, ясена, модрини, сосни, ялини).

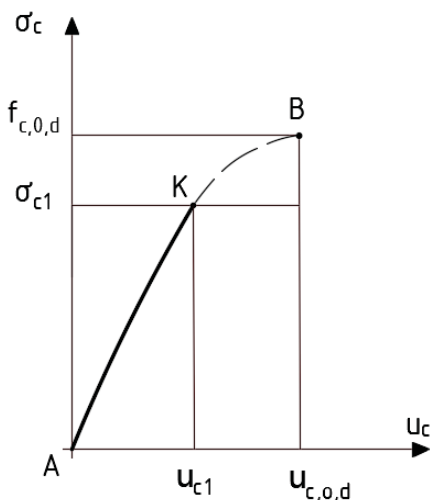


Рис. 1. Діаграма деформування деревини на стиск уздовж волокон за м'якого режиму випробувань

Дані нечисленні дослідження суцільної деревини за жорсткого режиму випробувань на стиск уздовж волокон за короточасного навантаження потребують певного узагальнення та створення моделі, яка б дозволяла можливість описати роботу суцільної деревини для більшості існуючих листяних та хвойних порід від початку завантаження і до повного руйнування матеріалу.

Мета роботи – розробка узагальненої моделі роботи суцільної деревини листяних та хвойних порід на стиск уздовж волокон за короточасного навантаження від початку завантаження і до повного руйнування.

Методика досліджень та результати. На основі проведених експериментальних досліджень вченими [5,6,7] були побудовані повні діаграми деформування суцільної деревини сосни конструктивних розмірів та встановлені експериментальним шляхом основні її параметри (рис.2).

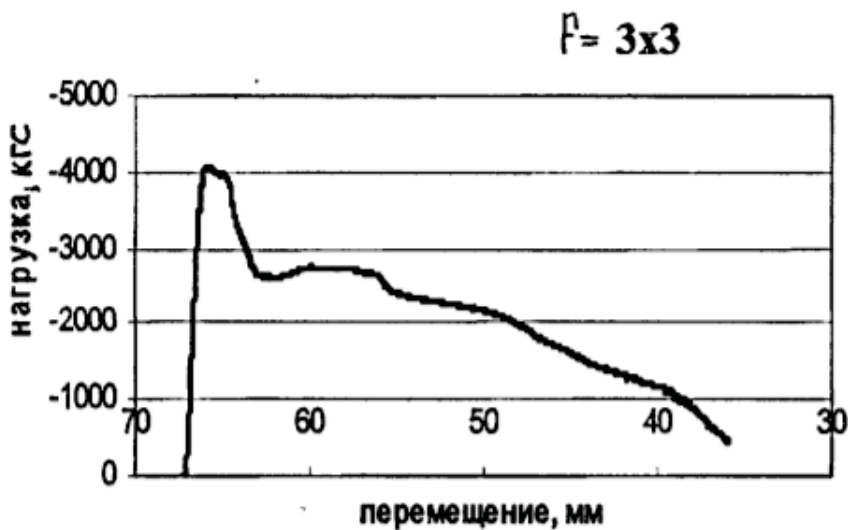


Рис.2. Діаграма «навантаження – переміщення плити пресу» за повздовжнього стиску

Закордонними дослідниками Da Silva A., Kyrakides S. [8] проведені такі ж дослідження деревини бальзи. Також автори провели відеозйомку роботи матеріалу на кожній з її стадій (рис.3).

Нами були проведені широко масштабні експериментально-теоретичні дослідження листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних порід (модрини, сосни, ялини) осьовим стиском уздовж волокон та встановлені основні міцнісні та деформівні показники (граничну міцність, критичні, граничні та остаточні деформації і відповідні їм напруження, початковий модуль пружності та модуль деформацій) з різним показником вологості, віком та швидкістю деформування.

Аналізуючи експериментальні дослідження [5-8] та наші [9-11], приходимо до висновку, що деревина працює на висхідній та спадній вітках. Її основні механічні властивості змінюються в залежності від навантаження з початку роботи і до руйнування, оскільки деревина є пружно-пластичним матеріалом.

Отже, необхідно запропонувати узагальнену теоретичну модель роботи суцільної деревини будь-яких порід на стиск уздовж волокон за короточасного навантаження, яка з великою достовірністю давала б можливість описувати роботу таких матеріалів на всіх стадіях деформування. І тому нами створена така модель, яка в повній мірі відображає роботу деревини в докритичній і закритичній стадії, визначивши при цьому основні її параметри (рис.4).

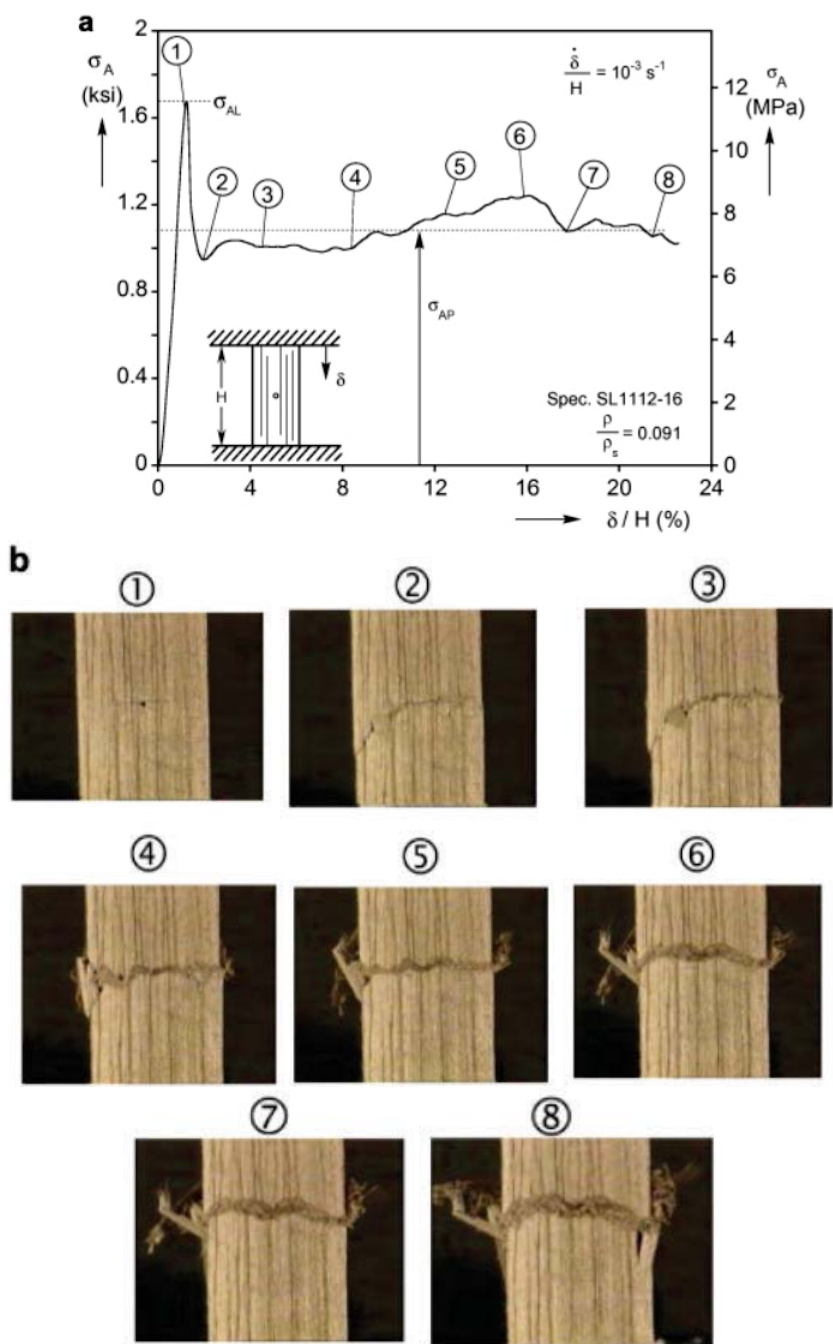


Рис. 3. Повна діаграма деформування деревини бальзи – а, робота матеріалу в закритичній стадії роботи – б. [8]

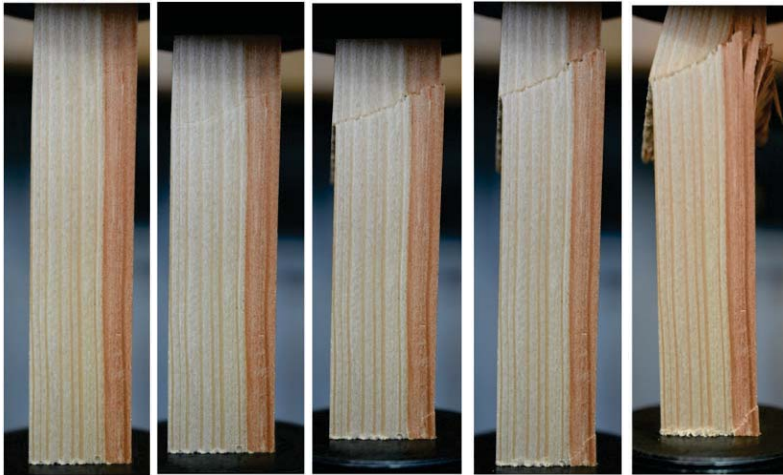
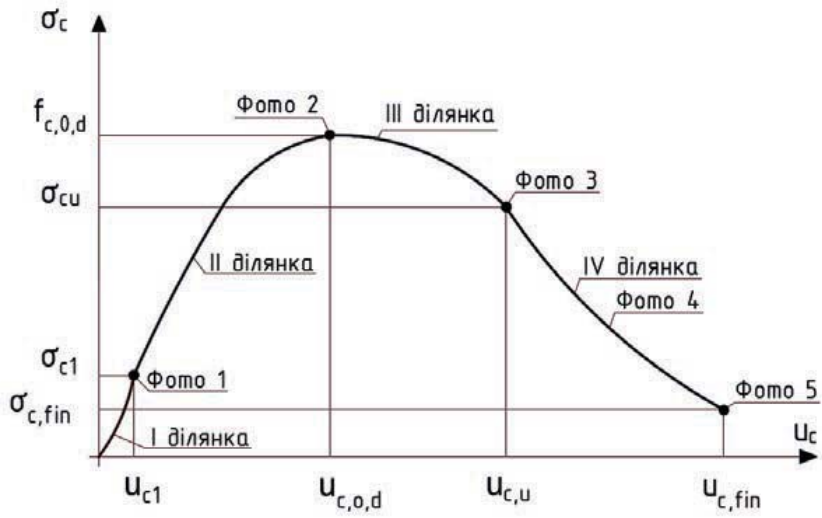


Фото 1 Фото 2 Фото 3 Фото 4 Фото 5

б

Рис.4. Еталон повної діаграми деформування деревини «навантаження – переміщення плити випробувальної машини» за стиску вздовж волокон – а; роботи деревини на ділянках – б: u_{c1} – відносні деформації на кінець I ділянки; σ_{c1} – напруження, що відповідають відносним деформаціям u_{c1} ; $u_{c,0,d}$ – відносні критичні деформації; $f_{c,0,d}$ – гранична міцність (максимальні напруження); $u_{c,u}$ – відносні граничні деформації; $\sigma_{c,u}$ – напруження, що відповідають відносним граничним деформаціям $u_{c,u}$; $u_{c,fin}$ – відносні залишкові (остаточні) деформації; $\sigma_{c,fin}$ – залишкові (остаточні) напруження, що відповідають відносним деформаціям $u_{c,fin}$.

Рис.4 – це класична модель дійсної роботи суцільної деревини листяних та хвойних порід на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження.

Опишемо характерні ділянки еталону повної діаграми деформування (рис.4.1а). Отже, умовно поділимо діаграму на висхідну вітку (від 0 до точки максимального напруження та критичних деформацій) та спадну (від точки максимального напруження та критичних деформацій до моменту руйнування). Всю діаграму деформування деревини за дії повздовжнього стиску можливо поділити на чотири характерні ділянки: дві докритичні та дві закритичні.

Перша ділянка докритична – початковий етап роботи зразка характеризується значним викривленням діаграми, на яку впливають деформації торцевого обтиснення зразка і знаходиться в межах $\eta=0$ до $\eta=0,15$ – $\eta=0,25$ від максимального напруження.

Друга ділянка також докритична від завершення першої ділянки до настання критичних відносних деформацій. На цій ділянці знаходиться експлуатаційний режим роботи зразка – робота матеріалу за нормальних умов експлуатації і аварійний режим експлуатації роботи зразка – на даному етапі матеріал може зруйнуватися за певного часу тривалого або малоциклового навантаження. Відносні деформації деревини починають зростати з більшою швидкістю в порівнянні з першою ділянкою, ділянка набуває викривлення в сторону осі напружень. На даній ділянці діаграма на висхідній вітці досягає найвищої точки максимальних напружень, їм відповідають критичні деформації.

Далі матеріал переходить в наступну фазу роботи – на спадній вітці (закритична стадія роботи), де явно виділяється ще 2 ділянки – третя та четверта.

Отже, на низхідній (спадній) гілці деформування деревини можливо візуально спостерігати дві відмінні між собою ділянки (рис.4а):

- третю ділянку – це початок спадної вітки, що характеризується стрімким зменшенням міцності деревини, і до граничних відносних деформацій деревини;

- четверту ділянку від граничних відносних деформацій деревини, яка характеризується збільшенням швидкості деформування за менш стрімкого, ніж на першій ділянці зменшенням міцності, та на якій деформації можуть досягати гіпер великих величин і це призводить до повного руйнування матеріалу.

Докритична висхідна ділянка повздовжнього деформування діаграми « σ_c – u_c » відповідає стійкому стану повздовжніх волокон деревини, а закритична спадна (низхідна) – нестійкому.

Визначимо більшість міцнісних та деформівних показників суцільної деревини (рис.4а) теоретичним шляхом.

Отже, апроксимацію такої діаграми пропонується описувати поліномом 4-го степеня за нашими пропозиціями

$$\sigma_c = w_1 \cdot u_c + w_2 \cdot \frac{u_c^2}{u_{c,0,d}} + w_3 \cdot \frac{u_c^3}{u_{c,0,d}^2} + w_4 \cdot \frac{u_c^4}{u_{c,0,d}^3} = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}, \quad (1)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4 – коефіцієнти полінома, які отримані за допомогою многочлена Лагранжа.

Відносні критичні деформації визначаємо 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 [11]

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

де E_0 – початковий модуль пружності суцільної деревини;

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

Граничні відносні деформації можливо визначити за нашою методикою [10] або за залежностями (4, 5, 6, 7, 8, 9) за стандартної вологості:

$$\text{– деревини берези } u_{c,u} = 1,48 u_{c,0,d}; \quad (4)$$

$$\text{– деревини вільхи } u_{c,u} = 1,41 u_{c,0,d}; \quad (5)$$

$$\text{– деревини ясена } u_{c,u} = 1,65 u_{c,0,d}; \quad (6)$$

$$\text{– деревини модрина } u_{c,u} = 1,37 u_{c,0,d}; \quad (7)$$

$$\text{– деревини сосни } u_{c,u} = 1,38 u_{c,0,d}; \quad (8)$$

$$\text{– деревини ялини } u_{c,u} = 1,40 u_{c,0,d}. \quad (9)$$

Модуль деформацій можливо визначити за формулою (10)

$$E' = E_0 (1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (10)$$

де $\lambda_{f_{c,0,d}}$ – коефіцієнт пластичності суцільної деревини за стиску уздовж волокон;

η – рівень напружень в суцільній деревині.

Висновки. 1. Запропоновано модель дійсної роботи суцільної деревини листяних та хвойних порід на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження від початку завантаження і до повного руйнування матеріалу.

2. Встановлено чотири характерні ділянки роботи деревини.

3. Запропоновано теоретичне визначення основних міцнісних та деформівних параметрів повної діаграми деформування суцільної деревини.

1. Иванов Ю.М. К вопросу исследования разрушение древесины при сжатии вдоль волокон. Труды института леса АН СССР. 1953. Т. IX. С. 88–92.

Ivanov YU.M. K voprosu issledovaniya razrusheniye drevesiny pri szhatii vdol' volokon. Trudy instituta lesa AN SSSR. 1953. T. ÍKH. S. 88–92.

2. Kollmann F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. I. Berlin, 1951. 1050 s.

3. Гомон Св.Ст. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2019. 288 с.

Gomon S.S. Napruzheno-deformovanyu stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh: monohrafiya. Rivne: Volyns'ki oberehy, 2019. 288 s.

4. Gomon Sv.Sv., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.

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. Копаница Д.Г., Лоскутова Д.В., Савченко В.И., Пляскин А.С. Определение коэффициента постели для расчета узлового соединения элементов древесины на МЗП. Вестник ТГАСУ, 2011. №2. С. 79–88.

Kopanitsa D.G., Loskutova D.V., Savchenko V.I., Plyaskin A.S. Opredeleniye koeffitsiyenta posteli dlya rascheta uzlovogo soyedineniya elementov drevesiny na MZP. Vestnik TGASU, 2011. №2. S. 79–88.

8. 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.

9. Гомон Св.Св., Гомон П.С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини « σ - u » суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 38. С. 321–330.

Gomon Sv.Sv., Gomon P.S. Pobudova diysnykh diahram mekhanichnoho stanu derevyny « σ - u » sutsil' noho pererizu yalyny ta berezy za zhorstkoho rezhymu vyprobovan'. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2020. Vyp. 38. S. 321–330.

10. Гомон Св.Св. Математическая модель определения предельных деформаций лиственных и хвойных пород. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Budapest, 2020. Sep. VIII(29), Issue: 238. Pp. 46–50.

Gomon Sv.Sv. Matematycheskaya model' opredelenyya predel' nykh deformatsyy lystvennykh y khvoynykh porod. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Budapest, 2020. Sep. VIII(29), Issue: 238. Pr. 46–50.

11. 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. Kyuiv: KNUBA, 2020. Vyp. 73. S.78–87.