

УДК 624.011.1:539.3

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПОВНИХ ДІАГРАМ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ДЕРЕВИНИ « σ - u »

ANALYSIS OF THE DEPENDENCIES FOR THE CONSTRUCTION OF THE COMPLETE TIMBER MECHANICAL STATE « σ - u » DIAGRAMS

Гомон С.С., к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, Україна, м.Рівне)

Gomon S.S, candidate of technical sciences, associate professor (National university of water and environmental engineering, Rivne)

Проведено детальний аналіз літературних джерел з побудови діаграм механічного стану деревини « σ - u ». Наведено степеневі, показникові, поліноміальні, тригонометричні, дробові залежності, які були використані різними вченими в різні роки, для опису даних діаграм «напруження-деформації».

The article gives a detailed analysis of the literature on the construction of the timber mechanical state " σ - u " diagrams. The article also shows the scope of timber - it is industrial and civil construction (floors, windows, doors, various units and parts, floors and coatings of buildings, structures, etc.), road and rail construction (bridges, floorings, piles, sleepers, platforms), shipbuilding, agriculture. The problem of the internal structure features influence (macro- and microstructure) on the operation and calculation of wood and structures based on it is also indicated. Earlier it has been proved that one of the main factors and indicators of the timber mechanical properties is its strength and deformability, and therefore, the construction of complete diagrams of the mechanical state (with a descending branch) under experimental and theoretical studies is an urgent task for researchers. The article indicates that a large number of foreign and domestic scientists have been studying this problem over the past decades. Dependences were given and analyzed with the help of which it would be possible to describe the σ - u diagrams (exponential, polynomial, trigonometric, fractional). The author of the article concluded that the construction and description of such diagrams will allow more widely and fully reveal the stress-strain state of various types of wood and their real work on various types of load.

Ключові слова:

Деревина, деформації, напруження, діаграми, залежності.

Timber, deformation, loadings, diagrams, dependencies.

Вступ. Деревина є природним анізотропним, пружно-пластичним матеріалом. Вона використовується в різних галузях промисловості, зокрема в промисловому та цивільному будівництві (підлоги, вікна, двері, різні вузли та деталі, перекриття та покриття будинків, споруд та ін.); дорожньому та залізничному будівництві (мости, настили, палі, шпали, платформи); суднобудуванні та ін. Для правильного розуміння законів роботи деревини під навантаженням великий інтерес представляє виявлення загальних характеристик, яким підпорядковується деревина, як анізотропний матеріал, виходячи із своєї внутрішньої будови. Внутрішня будова деревини є досить складною, щоб можна було виділити основні закономірності, не вдаючись до припущень різного роду. Також при роботі та розрахунках деревини необхідно враховувати її макро- та мікроструктуру. Одним із основних чинників та показників механічних властивостей деревини є її міцність та деформативність, а отже, побудова повних діаграм механічного стану (зі спадною віткою) за експериментальних та теоретичних досліджень є актуальною задачею для дослідників. Даними дослідженнями займалося велика кількість закордонних та вітчизняних вчених на протязі останніх десятиліть. Також дослідники наводили залежності, за допомогою яких можна було б описувати дані діаграми « σ - u ». Побудова та опис таких діаграм дасть можливість більш широко і повно розкрити напружено-деформований стан різних порід деревини та їх реальну роботу за різних видів навантаження.

Стан питання та задачі дослідження. Дослідженню механічних характеристик деревини присвячено велику кількість робіт різних вітчизняних та закордонних вчених. Нас цікавить ряд робіт, які пов'язані з роботою деревини на стиск, і зокрема, з дослідженням її міцнісних та деформативних характеристик, а також побудовою діаграм « σ - u » за експериментальними даними та аналітичними залежностями.

Експериментальними дослідженнями роботи деревини на стиск вздовж волокон займалися ряд вчених - Иванов А.М., Быков В.В., Белянкин Ф.П., Baumann R., Lang G. Більшість цих досліджень проводилися за м'якого режиму випробувань (рис.1). Дослідженням повних діаграм деформування деревини сосни за жорсткого режиму випробувань присвячені роботи [5, 6, 7].

Дослідженням діаграм механічного стану різних матеріалів аналітичним шляхом присвячені роботи [2, 3, 6, 7,8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Основною задачею даного дослідження є наведення основних залежностей, які в подальшому будуть використані для апроксимації реальних діаграм механічного стану різних порід деревини « σ - u ».

Основна частина. Діаграми « σ - u » для матеріалів описуються різними функціями.

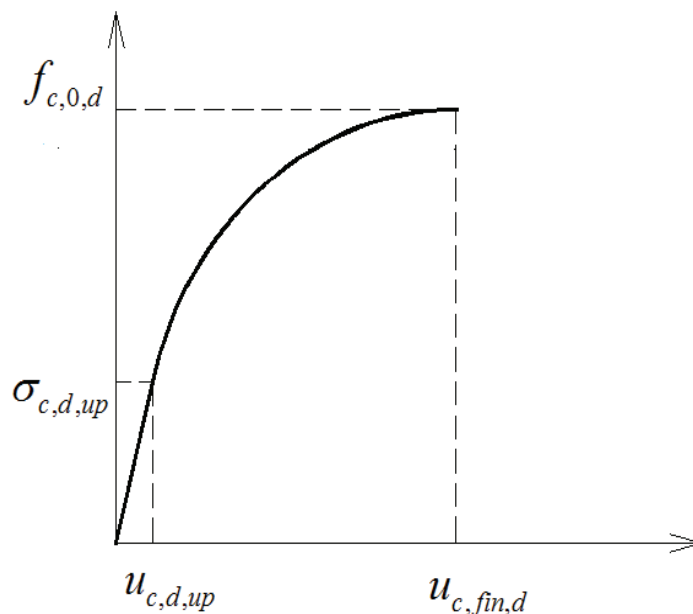


Рис. 1. Діаграма деформування деревини на стиск вздовж волокон за м'якого режиму випробувань

В нашому ДБН [23] вказується на необхідність враховувати пружно-пластичні властивості стиснутої деревини, але не наведено механізм для отримання таких діаграм.

Для опису даних діаграм можна використати функцію, яку запропонував А. Saint-Venant [8] ще в середині XIX ст.

$$\sigma = A \left(1 - \left(1 - \frac{u}{u_1} \right)^n \right). \quad (1)$$

В кінці XIX ст. G. Vach [9] запропонував наступну степеневу залежність

$$\sigma = A \cdot \sqrt[m]{u} \quad (2)$$

В подальшому різними вченими було використано формулу F. Schule для апроксимації діаграми « σ - u »

$$\sigma = \alpha u^m - \beta u^2 \quad (3)$$

Також широко використовується функція запропонована E. Frank

$$\sigma = \alpha u / (1 + \beta u) \quad (4)$$

На початку XX ст. L. Baes, L. Vandesperge [10] отримали наступну математичну залежність

$$\sigma = f \eta (1 - u^{-mu}) \quad (5)$$

Один із самих відомих в радянські часи дослідником роботи деревини та дерев'яних конструкцій Ф.П. Белянкін [3] дав наступні пропозиції для апроксимації діаграм « σ - u », які в подальшому були використані багатьма вченими, отже:

- на ділянці від $\sigma = \sigma_p$ до $\sigma = \sigma_c$ залежність $\sigma(u)$ є прямолінійна і $\sigma = E u$ (пружня робота матеріалу);

- потім деформації зростають від u_c до u_c^n при постійному напруженні $\sigma = \sigma_c^{пл}$ (пластична робота).

Закордонні вчені Sturman G., Shah S., Winter G. [11] пропонують наступну математичну залежність

$$\sigma = \alpha u + \beta u^n \quad (6)$$

За результатами експериментальних досліджень наведених в роботі [12] побудована діаграма роботи сосни на стиск вздовж волокон. На ділянці діаграми від 0 до $\varphi=0,5$ залежність носить лінійний характер, іншу криволінійну частину автор описує наступною залежністю

$$\varphi = 0,0203x^4 + 0,0322x^3 + 0,233x^2 + 0,889x - 0,620, \quad (7)$$

де $x=1000u$.

Для опису даних діаграм можна використати наступну тригонометричну функцію запропановану N. Everard [13]

$$\sigma = f \cdot \sin(\pi \cdot u / (2 \cdot u_1)) \quad (8)$$

В роботах [14,15] пропонуються наступні залежності для апроксимації діаграм « σ - u »

$$\frac{u}{u_0} = \frac{\sigma}{\sigma_0} + \alpha^* \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n; \quad (9)$$

$$\frac{u}{0,0032} = \frac{\sigma}{322} + 0,719 \left(\frac{\sigma}{322}\right)^{12,07}. \quad (10)$$

В середині ХХ ст. закордонні дослідники В.Р. Sinha, К.Н. Gestle, L.G. Tulin [16] пропонують таку математичну функцію

$$u = a \cdot u / (a + (\beta \cdot u)^b). \quad (11)$$

А.Г. Рафаїлов [17] запропонував наступну залежність

$$\sigma = A_0 u^{\sum_{i=1}^N A_i l g^{i-1} u}. \quad (12)$$

В останні роки широку популярність для опису діаграми « σ - u » для деревини завоювали поліноміальні залежності, які дають досить хорошу збіжність експериментальних та теоретичних значень. Наведемо деякі з них.

F. Gerstner в середині ХІХ ст. запропонував функцію, яку в подальшому в своїх роботах використав [19]

$$\sigma = A_1 u - A_2 u^2. \quad (13)$$

Поліном 3-го степеня був запропонований В.В. Биковим [20] та Н.В. Гринкруг [21] для опису діаграм «напруження-деформації» деревини

$$\sigma = A_1 u + A_2 u^2 + A_3 u^3. \quad (14)$$

В роботі [22] використано рівняння кубічної параболи

$$\sigma = A_1 u - A_2 u^3. \quad (15)$$

Дослідники [6,7] отримали експериментальним шляхом повні діаграми деревини сосни стиску вздовж волокон з низхідною віткою та підтвердили збіжність результатів поліноміальними залежностями.

Дослідники [6,7] отримали експериментальним шляхом повні діаграми деревини сосни стиску вздовж волокон з спадною віткою та підтвердили збіжність результатів поліноміальними залежностями.

Висновки. 1. Для опису діаграм механічного стану деревини під навантаженням наведені залежності, які були розроблені і використовувалися різними дослідниками.

2. Експериментальні дослідження повних діаграм « σ - ϵ » деревини сосни вздовж волокон з отриманням спадної вітки знаходимо в роботах [5, 6, 7]. Автори [6, 7] підтвердили достатньо хорошу збіжність діаграм, які отримані експериментальним та теоретичним шляхом.

3. В подальшому необхідно провести експериментальні дослідження деревини на стиск вздовж волокон за жорсткого режиму прикладення навантаження для отримання повних діаграм деформування матеріалу для різних, як хвойних порід деревини, зокрема сосни, ялини, ялиці, модрина, так і для листяних. А також провести апроксимацію цих діаграм деформування зі статистичним підтвердженням залежностями, які наведені вище.

1. Иванов А.М. Исследования диаграммы механических испытаний древесины. Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1959. №4. С. 116 – 122.

Ivanov A.M. Issledovaniya diagrammy mekhanicheskikh ispytaniy drevesiny. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1959. №4. S. 116 – 122.

2. Быков В.В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки: Известия вузов. Строительство и архитектура, 1967. №8. С.3-8.

Bykov V.V. Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti i deformativnosti drevesiny sibirskoy listvennitsy pri szhatii i rastyazhenii vdol' volokon s uchetom dlitel'nogo deystviya nagruzki: Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura, 1967. №8. S.3-8.

3. Белянкин Ф.П. Длительное сопротивление дерева: научное пособие. Москва: Госстройиздат, 1934. 134с.

Belyankin F.P. Dlitel'noye soprotivleniye dereva: nauchnoye posobiye. Moskva: Gosstroyizdat, 1934. 134s.

4. Baumann R., Lang G. Das Holz als Bausstoff. 1927. P. 48-53.

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. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. Рівне: Вид-во НУВГП, 2012. Вип 23. С. 166-171.

Homon S.S., Homon S.S., Sasovs'kiy T.A. Diahrami mekhanichnoho stanu derevyny sosny za odnorazovoho korotkochasnoho deformuvannya do povnoyi Vtrata mitsnosti materialu. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, Budivli ta sporudy. Zb. nauk. prats'. Rivne: Vyd-vo NUVHP, 2012. Vyp 23. S. 166-171.

8. Saint-Venant B. Memoire sur l'impulsion transversal et la resistance vive des barres elastiques appuyees aux extremités. Comptes rendus. T.14, 1857. P.204-208.

9. Bach G. Untersuchungen von Granit inbezug auf Zug-, Druck-, Biegungs- und Schubfestigkeit, sowie in Hinsicht auf Zug-, Druck- und Biegungeelastizitat. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Band XXXXI, №9, 1897. – P.241-252.

10. Baes L., Vandepierre L. Compression simple et flambement des pillers en beton arme. Congres International pour l'essai des materiaux, 1928. P.18-31.

11. Sturman G.M., Shah S.P., Winter G. Effect of flexural strain gradients on micro cracking and stress-strain behavior of concrete. ACI Journal. Vol.62. №3, 1965. P. 805-822.

12. Губенко А.Б. Устойчивость центрально сжатых цельных деревянных стержнем. Исследование прочности и устойчивости деревянных стержней: Сб. ЦНИПС. Москва: Стройиздат, 1940. С3-13.

Gubenko A.B. Ustoychivost' tsentral'no szhatykh tsel'nykh derevyannykh sterzhnem. Issledovaniye prochnosti i ustoychivosti derevyannykh sterzhney: Sb. TSNIPS. Moskva: Stroyizdat, 1940. S3-13.

13. Everard N. Ultimate Strength Design Service – ability. A Unified Method on Reinforced Concrete Bridge Design: monograph. Proceedings International Symposium on Bridge Design (Toronto, Ontario, Canada). ACI Special Publication, 1969. P.385-405.

14. Хофф Н. Продольный изгиб та устойчивость. Москва: Издательство иностранной литературы, 1955. 155 с.

Khoff N. Prodol'nyy izgib ta ustoychivost'. Moskva: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1955. 155 s.

15. Бельский Г.Е. Устойчивость центрально сжатых стержней и рам в упругопластической работе. Расчет конструкций работающих в упругопластической стадии. Сборник трудов ЦНИИСК. Москва, 1961. Выпуск 7. С.239-267.

Bel'skiy G.Ye. Ustoychivost' tsentral'no szhatykh sterzhney i ram v uprugoplasticheskoy rabote. Raschet konstruksiy robotayushchikh v uprugoplasticheskoy stadii. Sbornik trudov TSNIISK. Moskva, 1961. Vypusk 7. S.239-267.

16. Sinha B.P., Gerstle K.H., Tulin L.G. Stress-strain relations for concrete under cyclic loadings. ACI Journal, Vol.61, №2, 1964. P.195-212.

17. Рафаилов В.Г. Оценка концентрации напряжений с помощью аппроксимации кривой деформирования материала. Пространственные конструкции в Красноярско крае. Красноярск, 1985. С. 108-113.

Rafailov V.G. Otsenka kontsentratsii napryazheniy s pomoshch'yu approksimatsii krivoy deformirovaniya materiala. Prostranstvennyye konstruksii v Krasnoyarsko kraye. Krasnoyarsk, 1985. S. 108-113.

18. Ромашко В.М. Деформаційно-силова модель опору бетону та залізобетону: монографія. Рівне, 2016. 424 с.

Romashko V.M. Deformatsiyno-sylova model' oporu betonu ta zalizobetonu: monohrafiya. Rivne, 2016. 424 s.

19. Леннов В.Г. Экспериментальное исследование древесины на сжатие и растяжение вдоль волокон с учетом длительного действия загрузки. Известия вузов. Строительство и архитектура. 1958. №2. С.147-157.

Lennov V.G. Eksperimental'noye issledovaniye drevesiny na szhatiye i rastyazheniye vdol' volokon s uchetom dlitel'nogo deystviya zagruzki. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1958. №2. S.147-157.

20. Быков В.В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки: Известия вузов. Строительство и архитектура, 1967. №8. С.3-8.

Bykov V.V. Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti i deformativnosti drevesiny sibirskoy listvennitsy pri szhatii i rastyazhenii vdol' volokon s uchetom dlitel'nogo deystviya nagruzki: Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura, 1967. №8. S.3-8.

21. 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

22. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. Москва: Стройиздат, 1978. 208 с.

Lukash P.A. Osnovy nelineynoy stroitel'noy mekhaniki. Moskva: Sroyizdat, 1978. 208 s.

23. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення.– Київ: Укрархбудінформ, 2017. 119с.

DBN V.2.6-161 : 2017. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Derev'yani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya.- Kyuyiv: Ukrarkhbudinform, 2017.- 119s.