

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ДЕФОРМАТИВНИХ ЗАКРИТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВИНИ

TO DETERMINATION OF SOME DEFORMATIVE CRITICAL CHARACTERISTICS OF WOOD

Гомон Св. Св., д.т.н., проф., ORCID 0000-0001-9818-1804, Гомон Св.Ст., д.т.н., проф., ORCID 0000-0003-2080-5650 (Національний університет водного господарства та природокористування, Україна, м. Рівне)

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

Запропоновано методологію визначення критичних деформацій за осьового стиску вздовж волокон суцільної деревини листяних та хвойних порід, включаючи пружну та пластичну складові. Розроблено методику визначення граничних деформацій деревини та композиційних матеріалів на основі аналізу напружено-деформованого стану згинального елемента прямокутного перерізу та діаграм механічного стану матеріалу «напруження – деформації».

Wood and composite materials, products, parts, elements, structures based on it are and remain one of the main consumer products of various spheres of our lives, including construction, transport, engineering and shipbuilding, chemical, furniture, mining and aviation industries. Many of these materials work in compression along the fibers. The state of scientific researches of mechanical characteristics of continuous wood of deciduous and coniferous breeds and composite materials on their basis is analyzed in detail. Correct determination of the characteristics of mechanical properties involves experimental testing of solid wood of deciduous and coniferous species on instrumental testing machines in the rigid mode (by increasing displacement) by compression along the fibers. It is established that there are no methodologies for determining the mechanical characteristics in the supercritical stage of the material, ie on the descending branch of deformation. A methodology for determining the critical deformations of axial compression along the fibers of solid wood of deciduous and coniferous species, including elastic and plastic components, is proposed. This methodology has been tested on many species of wood that are grown in many countries around the world. A method for determining the ultimate

deformations of wood and composite materials based on the analysis of the stress-strain state of the bending element of rectangular cross-section and diagrams of the mechanical state of the material "stress - strain". Further research on this issue is proposed, in particular the calculation of wooden elements and structures, taking into account the proposed methods.

Ключові слова:

Суцільна деревина, композиційні матеріали, критичні деформації, граничні деформації, діаграма «напруження-деформації», діаграма «момент-кривина». Solid timber, composite materials, critical deformations, limit deformations, «stress-strain» diagram, «moment-curvature» diagram..

Вступ. Деревина та композиційні матеріали, вироби, деталі, елементи, конструкції на її основі є і залишаються одним із основних споживчих продуктів різних сфер нашого життя, зокрема будівництва, транспорту, машино- та кораблебудування, хімічної, меблевої, гірничо-видобувної та авіаційної промисловості. Дуже важливо мати необхідні дійсні механічні характеристики таких матеріалів. Але для цього потрібно випробовувати такі матеріали за жорсткого режиму (за приростом переміщень) [1], що дасть змогу визначати механічні властивості, як в докритичній, так і закритичній стадії роботи. Що в свою чергу дозволить встановлювати дійсний напружено-деформований стан елементів та конструкцій на основі таких матеріалів.

Аналіз останніх досліджень. Коректне визначення характеристик механічних властивостей передбачає експериментальні випробування суцільної деревини листяних та хвойних порід на інструментованих випробувальних машинах [1-3] за жорсткого режиму (за приростом переміщень) стиском вздовж волокон.

Експериментально досліджені основні міцнісні та деформівні характеристики зразків з суцільної деревини листяних та хвойних порід та композиційних матеріалів на їх основі (клеєної, модифікованої деревини полімерною композицією «силор») за жорсткого режиму навантаження [4-6]. Зокрема, побудовані повні діаграми деформування «напруження σ_c – деформація u_c », на основі яких визначені критичні деформації, початкові модулі пружності та модулі деформацій.

Мета даної статті – розробка методології дослідження з визначення основних деформівних параметрів (критичних та граничних деформацій) суцільної деревини листяних та хвойних порід та композиційних матеріалів на їх основі за осьового стиску вздовж волокон.

Методика досліджень та аналіз результатів. Критичні деформації суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі $u_{c,0,d}$ – це

деформації, які відповідають максимальному напруженню зразка $f_{c,0,d}$. Вони знаходяться на вершині діаграми «напруження-деформації» (Рис.1).

Граничні деформації суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі $u_{c,u}$ - це деформації деревини, які відповідають деформаціям згинального елемента прямокутного перерізу за максимального моменту M_d . Вони знаходяться на спадній вітці діаграми «напруження-деформації» (Рис.1). Встановити експериментальним шляхом, в якій точці діаграми спадної вітки вони знаходяться дуже складно. Тому їх необхідно моделювати.

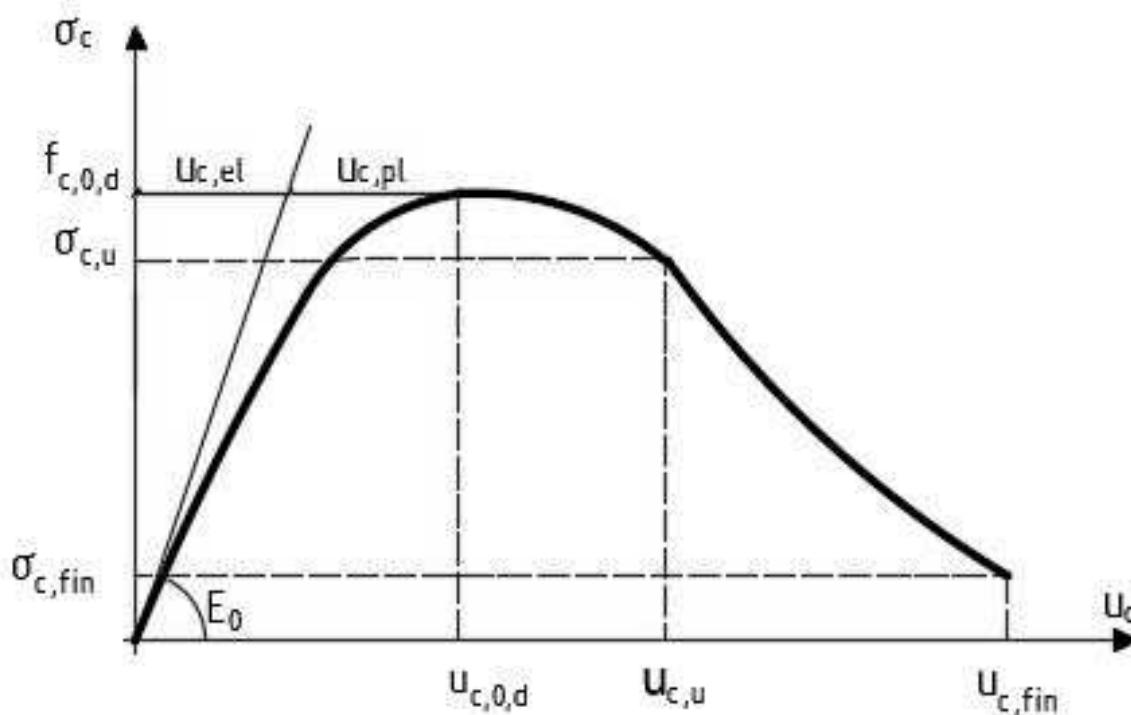


Рис.1. Повна діаграма деформування «напруження-деформації» деревини та композиційних матеріалів на її основі осьовим стиском вздовж волокон

Критичні та граничні деформації фактично дають повний спектр деформівності досліджуваного матеріалу та дозволять в подальшому розраховувати елементи та конструкції з суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі за так званою «деформівною схемою».

Суцільна деревина та композиційні матеріали на її основі працюють як пружно-пластичний матеріал, тому для знаходження критичних деформацій виділяємо дві складові

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

де $u_{c,el}$ – пружна деформація суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі;

$u_{c,pl}$ – пластична деформація суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі.

Враховуючи [7] та наші експериментальні дослідження [4-6] формула (1) набуде вигляду

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_0 + c_1 \cdot 10^{-7} \cdot f_{c,0,d}^2, \quad (2)$$

де E_0 – початковий модуль пружності суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку суцільної деревини та модифікатора і способу модифікації для модифікованої деревини.

За стандартної вологості 12% та віку деревини в межах 50...100 років коефіцієнт $c_1 = 6,55 \cdot 10^{-7} \text{ (МПа)}^{-2}$ для будь-якої листяної та хвойної породи деревини [8].

Формула (2) була апробована майже на 150 породах суцільної деревини (хвойних та листяних), які були вирощені на території України, країн Центральної та Східної Європи, Північної Америки – США та Канади [8].

Для деревини, що модифікована полімерною композицією «силор» за технологією поверхневої модифікації $c_1 = 4,47 \cdot 10^{-7} \text{ (МПа)}^{-2}$, за технологією глибинної модифікації - $c_1 = 2,69 \cdot 10^{-7} \text{ (МПа)}^{-2}$.

Для того, щоб визначити граничні деформації необхідно побудувати діаграму деформування «момент-кривина» згинального елемента прямокутного перерізу з суцільної листяних та хвойних порід деревини або композиційного матеріалу на їх основі. Побудова даної діаграми проводиться в наступній послідовності: визначається напружено-деформований стан згинального елемента, будуються діаграми деформування матеріалу і проводяться необхідні розрахунки для побудови діаграми «момент-кривина» [9].

Основними умовами для визначення напружено-деформованого стану є:

- 1) всі необхідні рівняння рівноваги, які виникають в поперечному перерізі;
- 2) деформування в поперечному перерізі проходить за лінійним законом (зі збільшенням висоти перерізу, деформації збільшуються пропорційно);
- 3) використання функцій діаграм деформування стиснутої та розтягнутої зони вздовж волокон, отриманих на основі експериментальних досліджень.

Тому враховуючи такі умови для деформаційної моделі запропоновано діаграму деформування матеріалу деревини або композиційного матеріалу з обмеженням в точці граничних деформацій стиском вздовж волокон, з врахуванням їх пружно-пластичних складових [10] (Рис.2а)

$$\sigma_{c,d} = f_c(u) = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}, \quad (3)$$

де $\sigma_{c,d}$ - нормальне напруження стиску вздовж волокон;

$u_{c,d}$ – відносна деформація;

w_i - коефіцієнти полінома функції (3);

Напруження в розтягнутій зоні визначають за формулою (Рис.2б)

$$\sigma_{t,d} = f_t(u) = E_0 \cdot u_t, \quad (4)$$

де $\sigma_{t,d}$ - нормальне напруження розтягу вздовж волокон;

$u_{t,d}$ - відносна деформації розтягу.

Використовуючи залежності (3) та (4), визначимо внутрішні зусилля стиску та розтягу, які виникають в перерізі від дії зовнішнього моменту

$$N_{c,d} = b \cdot z_c \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+1} \cdot \frac{w_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}; \quad (5)$$

$$N_{t,d} = b \cdot z_t \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{2}. \quad (6)$$

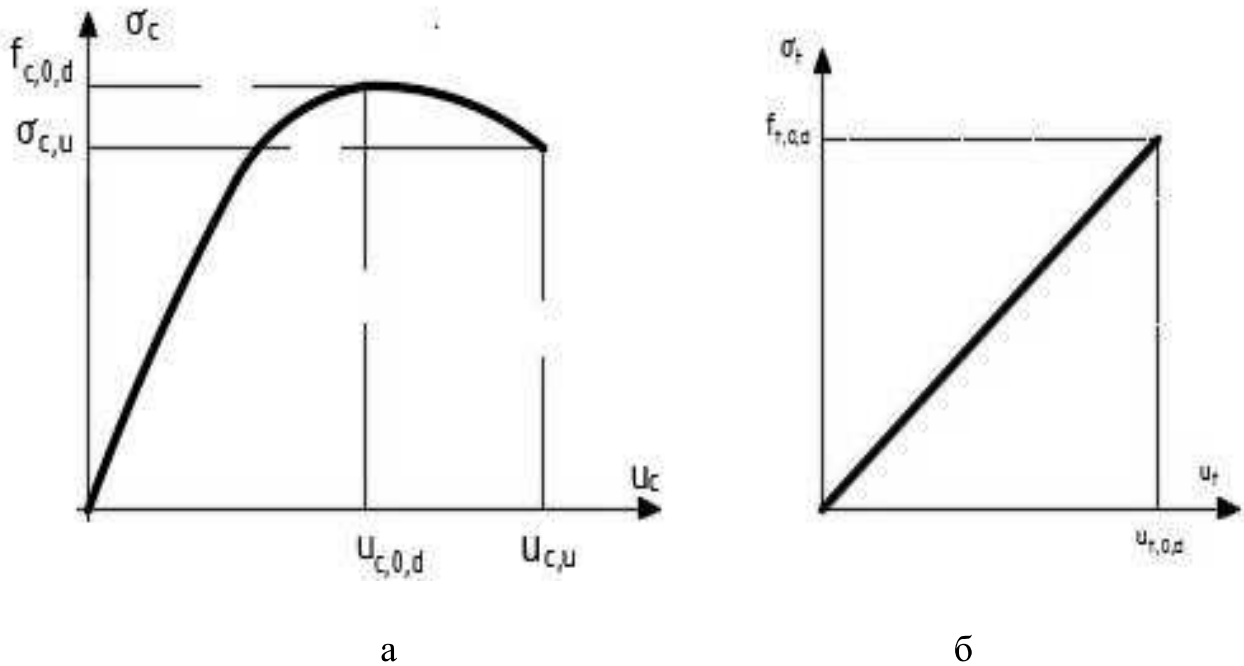


Рис.2. Діаграма «напруження-деформації» деревини та композиційних матеріалів на її основі: а) стиску вздовж волокон; б) розтягу вздовж волокон

Схематично розподіл напружень та деформацій в розрахунковому нормальному перерізі згинального елемента показано на рис.3.

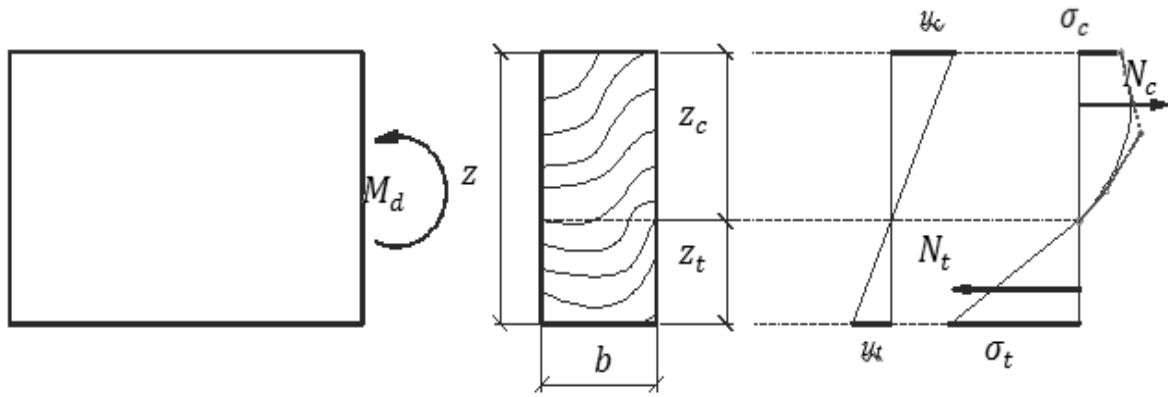


Рис. 3. Схема розподілу зусиль та деформацій в розрахунковому нормальному перерізі згинального елемента прямокутного перерізу

Внутрішні згинальні моменти, які сприймає стиснута та розтягнута зони в згинальному елементі прямокутного перерізу з врахуванням діаграм матеріалу, можливо записати в наступному вигляді

$$M_{c,d} = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}; \quad (7)$$

$$M_{t,d} = b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{3}. \quad (8)$$

Сумарний момент згину, який сприймає поперечний переріз від дії зовнішнього моменту, дорівнює

$$M_d = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} + b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{3}. \quad (9)$$

Для побудови діаграми «момент-кривина» використаємо запропоновану функцію [10] механічного стану деревини або композиційних матеріалів на її основі (3).

Алгоритм побудови діаграми «момент-кривина» згинального елемента прямокутного перерізу суцільної та модифікованої силором деревини листяних та хвойних порід наведено в [9].

На основі графіка «момент-кривина» будують діаграму «момент-деформація», з якої знаходимо значення деформації за максимального моменту, яке відповідає граничній деформації суцільної деревини або композиційного матеріалу на її основі $u_{c,u}$.

Висновки. Запропоновано методологію визначення критичних деформацій стиску суцільної деревини листяних та хвойних порід і композиційних матеріалів на їх основі, включаючи пружну та пластичну складові. Розроблено методику визначення граничних деформацій суцільної деревини та композиційних матеріалів на основі аналізу напружено-деформованого стану

згинального елемента прямокутного перерізу та діаграм стану матеріалу «напруження-деформації».

1. Gomon S.S., 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. №14. P. 73–80.

2. Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: experimental investigation and analytical study. BioResources, 2018. 13(1). P. 131-146.

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

4. Yasniy P., Gomon S.. Timber with improved strength and deformable properties. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No 3. P.17-27.

5. 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 і споруди. Рівне, 2020. Вип. 38. С. 321-330.

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

6. Гомон Св.Св. Поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі: дис. докт. техн. наук: 01. 02. 04. Тернопіль, 2021. 387 с.

Homon Sv.Sv. Polipshennya mitsnisnykh ta deformivnykh vlastyvostry sutsil'noyi derevyny ta kompozytsiynykh materialiv na yiyi osnovi: dys. dokt. tekhn. nauk: 01. 02. 04. Ternopil', 2021. 387 s.

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

Sheykin A.Ye. K voprosu prochnosti, uprugosti i plastichnosti betona. Stroitel'naya mekhanika i mosty. M: Transzheldorizdat, 1946. Vypusk 69. S. 48-52.

8. Гомон Св.Св. 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.

Homon Sv.Sv. Vyznachennya krytychnykh deformatsiy riznykh porid derevyny vyroshchennykh na terytoriyi Ukrayiny ta za yiyi mezhamy. Sciences of Europe. Praha, 2020. No 54. Vol.1. Pp. 36-41.

9. 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.

Homon Sv.Sv. Matematicheskaya model' opredeleniya predel'nykh deformatsiy listvennykh i khvoynykh porod. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Budapest, 2020. Sep. VIII(29), Issue: 238. Pr. 46-50.

10. 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 TNTU. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 97. No 1. P.57-64.