

УДК 539.3

DOI 10.36910/775.24153966.2023.75.33

О. В. Верешко¹, Св.Св. Гомон²

*Луцький національний технічний університет¹
Національний університет водного господарства та природокористування²*

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗГИНАЛЬНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ АГРЕСИВНОГО КИСЛОТНОГО СЕРЕДОВИЩА З ВРАХУВАННЯМ ПОВНИХ ДІАГРАМ ДЕФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛУ

Проведено аналіз літературних джерел щодо методик розрахунку згинальних дерев'яних елементів з врахуванням фактору агресивного кислотного середовища. Виявлено, що практично відсутні методики розрахунку елементів за таких умов експлуатації. Встановлено реальний напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента з врахуванням дії на нього агресивного кислотного середовища з врахуванням дійсних механічних властивостей матеріалу та теорій механіки деформованого твердого тіла. В подальшому необхідно розробити методику розрахунку таких елементів за дії агресивного кислотного середовища.

Ключові слова: Деревина, міцність, деформівність, напружено-деформований стан, кислотне середовище, згинальний елемент.

O. V. Vereshko, S.S. Homon

THE STRESSED AND DEFORMED STATE OF BENDING WOODEN ELEMENTS UNDER INFLUENCE OF AN AGGRESSIVE ACID ENVIRONMENT TAKING INTO ACCOUNT COMPLETE DIAGRAMS OF THE DEFORMATION MATERIAL

Wood can be subjected to various aggressive influences, including acidic ones. Various materials, including wood, can experience such effects at enterprises of the food and chemical industries and many others. It is more chemically resistant compared to metal, concrete and reinforced concrete. One of the most widespread are bending wooden elements and structures that can work under such operating conditions. Currently, the influence of an acidic environment on such elements is insufficiently studied, and the methods of calculation under such operating conditions, which take into account the actual mechanical properties of the material, are not fully presented.

An analysis of literary sources on calculation methods of bending wooden elements taking into account the factor of aggressive acid environment was carried out. It was found that there are practically no methods for calculating elements under such operating conditions.

The main tool for creating a model of the operation of a bending element in an aggressive acid environment is the following prerequisites:

- all necessary equilibrium equations that arise in the cross-section of the bending element;
- deformation occurs according to a linear law;
- the use of true functions of the full deformation diagrams of the compressed and stretched zones of the element.

Therefore, we will analyze the work of such an element in the following sequence:

- it is necessary to determine the strength of the bending element and establish the main factors affecting it;
- to propose a general method for determining the stiffness of an element and also to establish the factors that influence it.

- to develop calculation methods for comparing the bearing capacity and stiffness of wooden bending elements.

The actual stress-strain state of a bending wooden element is established, taking into account the action of an aggressive acid medium on it, taking into account the actual mechanical properties of the material and the theories of the mechanics of a deformable solid body.

In the future, it is necessary to develop a methodology for calculating such elements under the action of an aggressive acid environment.

Key words: Wood, strength, deformability, stressed-deformed state, acidic environment, bending element.

Постановка проблеми. Деревина – це цінний природний матеріал, який використовується як у повсякденному житті, так і в різних галузях народного господарства. З кожним роком запаси деревини у світі скорочуються. Тому необхідно раціонально використовувати наявні породи деревини. З іншого боку деревина може зазнавати різних агресивних впливів, в тому числі і кислотних. Таких впливів різні матеріали, в тому числі і деревина, можуть зазнавати на підприємствах харчової та хімічної промисловості та багато інших. Вона є більш хімічно стійкою у порівнянні з металом, бетоном та залізобетоном. Одним із найбільш розповсюджуваних є згинальні дерев'яні елементи та конструкції, які можуть працювати за таких умов експлуатації. На даний час недостатньо вивчений вплив кислотного середовища на такі елементи та не в повній мірі

О. В. Верешко, Св.Св. Гомон

представлені методики розрахунку за таких умов експлуатації, що враховують дійсні механічні властивості матеріалу.

Аналіз останніх досліджень. Міцнісні показники деревини під дією активних водних та кислотних середовищ вивчалися різними вченими [1-5]. Але, на жаль, результати їх експериментальних досліджень для різних порід деревини значно різняться, що не в повній мірі дозволяє враховувати при розрахунку дерев'яних елементів та конструкцій за таких умов експлуатації. Деформівні характеристики в даних роботах взагалі практично не вивчалися.

Нами були проведені цілеспрямовані широкомасштабні експериментальні дослідження деревини берези та сосни на зразках конструкційних розмірів перерізом 30x30x120 мм та встановлено істинні значення граничної міцності, критичних, граничних та залишкових деформацій під дією молочної, соляної та оцтової кислот різної концентрації [6-9]. На основі експерименту також побудовані повні діаграми деформування. Також запропонована методика з визначення початкового модуля пружності та модуля деформацій [10] за таких умов експлуатації та встановлено істинні значення зміни питомої ваги деревини берези та сосни за різної концентрації кислотного середовища [11].

Але актуальною задачею залишається встановлення напружено-деформованого стану згинальних дерев'яних елементів за дії на них агресивного кислотного середовища.

Постановка завдання. Метою роботи є встановлення напружено-деформованого стану дерев'яних елементів в умовах впливу агресивного кислотного середовища з врахуванням повних діаграм деформування матеріалу.

Виклад основного матеріалу. Чинні норми проектування [12,13] практично не дозволяють розрахувати дерев'яні елементи та конструкції за дії агресивного кислотного середовища. Тільки в роботі [5] запропоновано методику розрахунку таких елементів і конструкцій і то тільки з обмеженими експлуатаційними характеристиками, що не дає в повній мірі встановити дійсний напружено-деформований стан з прогнозованими механічними властивостями матеріалу.

Отже, необхідно розробити методику розрахунку, яка б давала можливість розраховувати згинальні елементи та конструкції на основі деревини за дії агресивного кислотного середовища з врахуванням всіх експлуатаційних факторів та істинних механічних властивостей матеріалу, а також прослідкувати зміни роботи на різних стадіях навантаження елемента.

Основним інструментом для створення такої моделі роботи згинального елемента в агресивному кислотному середовищі є наступні передумови:

- всі необхідні рівняння рівноваги, які виникають у поперечному перерізі згинального елемента;
- деформування відбувається за лінійним законом;
- використання істинних функцій повних діаграм деформування стиснутої та розтягнутої зон елемента.

Отже, аналіз роботи такого елемента будемо проводити в наступній послідовності:

- необхідно визначити міцність згинального елемента та встановити основні фактори, які на неї впливають;
- запропонувати загальну методику з визначення жорсткості елемента та також встановити фактори, які на неї впливають.
- розробити методики розрахунку з порівняння несучої здатності та жорсткості дерев'яних згинальних елементів.

Основним інструментом для розрахунку згинальних елементів на основі деревини, а як наслідок визначення моменту, слугує функція залежності відносних деформацій від прикладеного навантаження. Отже, в такому елементі деревина працює в стиснутій та розтягнутій зонах за жорсткого режиму прикладання навантаження, компенсуючи рівнодійну

$$u_c = f_c(\sigma_c); \quad (1)$$

$$u_t = f_t(\sigma_t). \quad (2)$$

Для розрахунків запропонуємо довільні функції залежності зусиль від деформацій (3), (4).

$$\sigma_c = f_c(u_c); \quad (3)$$

$$\sigma_t = f_t(u_t). \quad (4)$$

Дані функції апроксимуємо в одну безперервну функцію (5) (Рис.1)

$$\sigma_w = f_w(u_w). \quad (5)$$

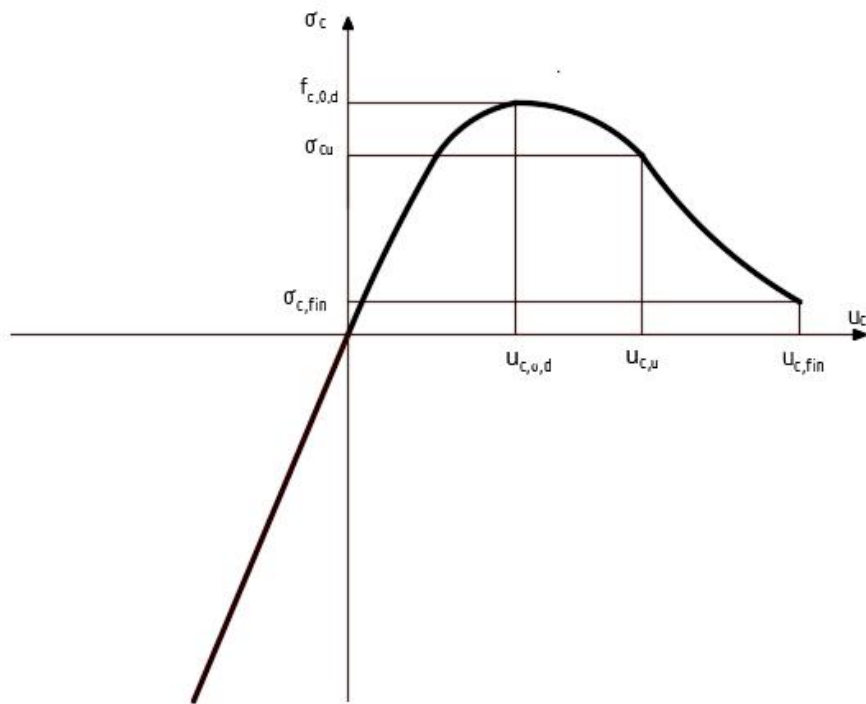


Рис. 1. Функція залежності напружень від деформацій

Функція напружень від деформацій не є безперечною. Тобто, дана залежність розпочинається в точці, де деревина зазнає розриву за розтягу та має точку екстремуму при навантаженні за стиску.

Запишемо рівняння рівноваги для окремого елемента (Рис.2)

$$\begin{aligned} N_x &= 0; \\ M_z &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

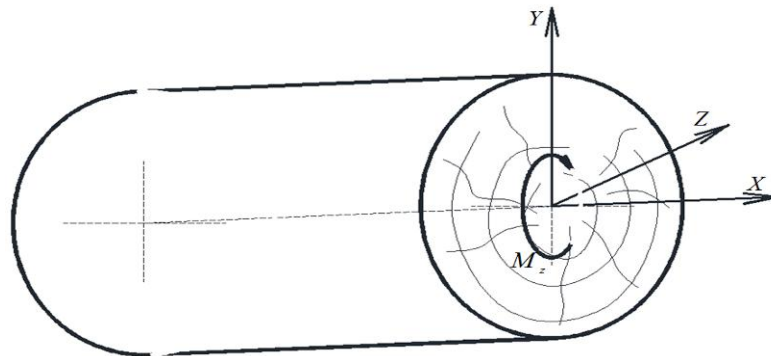


Рис.2. Внутрішні зусилля в згинальному дерев'яному елементі

Загальний вигляд рівноваги згинального елемента на основі деревини зображений на рис 3.

Враховуючи внутрішні напруження від дії зовнішнього моменту рівняння (6) можливо подати у наступному вигляді

$$\begin{aligned} \int_w (u_w) dA &= 0; \\ \int_w (u_w) z_w dA - M_z &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

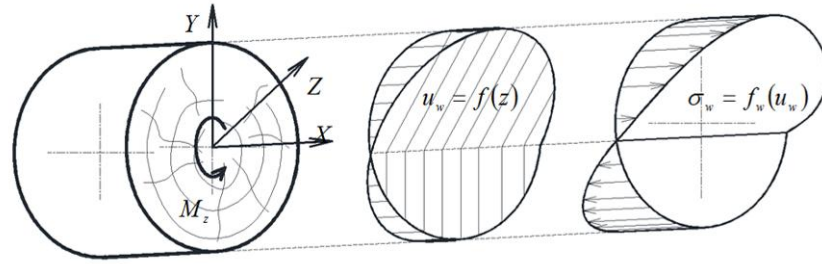


Рис. 3. Напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента

Враховуючи внутрішні напруження від дії зовнішнього моменту рівняння (6) можливо подати у наступному вигляді

$$f_w(u_w) dA = 0; \tag{7}$$

$$f_w(u_w) z_w dA - M_z = 0.$$

Оскільки поперечний переріз елемента має змінну ширину перерізу, то рівняння (7) можна записати у такому вигляді

$$f_w(u_w) f_b(z) dz = 0; \tag{8}$$

$$f_w(u_w) z_w f_b(z) dz - M_z = 0.$$

де $b = f_b(z)$ - функція зміни ширини перерізу по висоті перерізу.

Щоб проаналізувати дійсну роботу деревини як матеріалу, необхідно задатися функцією стану елемента.

Запропонуємо функцію полінома 4-го степеня [14] для опису дійсних діаграм деформування деревини за стиску (Рис. 4)

$$\sigma_c = f_c(u) = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}, \tag{9}$$

де σ_c - нормальні напруження стиску вздовж волокон; u_c - відносна деформація, що відповідає напруженню σ_c ; $u_{c,0,d}$ - деформація деревини, яка відповідає максимальній міцності $f_{c,0,d}$; w_i - коефіцієнти поліному; i - кількість коефіцієнтів функції.

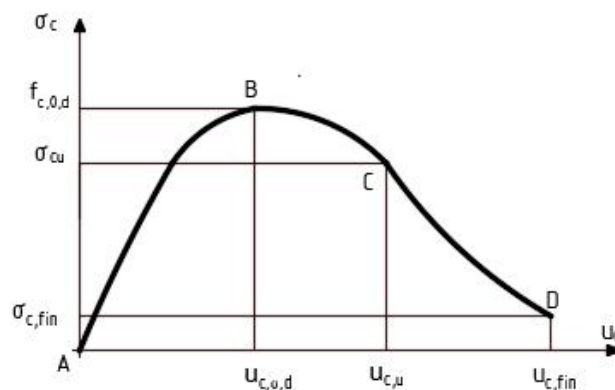


Рис.4. Повна діаграма деформування деревини за осьового стиску вздовж волокон отримана за функцією (9)

А також розтягу (Рис.5)

$$\sigma_t = f_t(u) = E_t u_t. \quad (10)$$

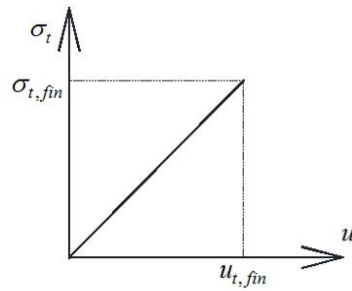


Рис. 5. Діаграма деформування деревини розтягу вздовж волокон отримана за функцією (10)

Припустимо, що поперечний переріз має довільну форму (Рис.6) та розділвши його на дві зони (стиснуту та розтягнуту) основні рівняння рівноваги набудуть наступного вигляду

$$\begin{aligned} N_c - N_t &= 0 \\ M_c + M_t - M_z &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

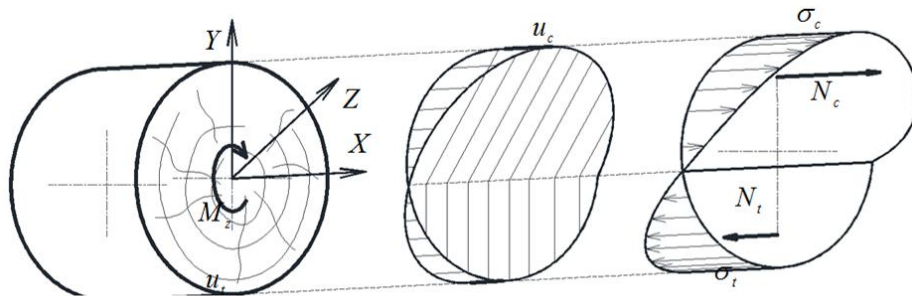


Рис. 6. Напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента

Отже, внутрішні зусилля з врахуванням рівняння рівноваги (11), а також при цьому враховуючи межі інтегрування по висоті перерізу та функцію зміни ширини перерізу, набудуть такого вигляду

$$N_c = \int_0^{z_c} f_c(u) f_b(z) dz; \quad (12)$$

$$N_t = \int_0^{z_t} f_t(u) f_b(z) dz. \quad (13)$$

$$M_c = \int_0^{z_c} f_c(u) f_b(z) z dz \quad (14)$$

$$M_t = \int_0^{z_t} f_t(u) f_b(z) z dz \quad (15)$$

Змінимо межі інтегрування для формул внутрішніх зусиль, що сприймає переріз враховуючи залежність (16) та (17)

$$dz = du \frac{z_c}{u_c} = du \frac{z_t}{u_t}; \quad (16)$$

$$z = u \frac{z_c}{u_c} = u \frac{z_t}{u_t}. \quad (17)$$

Отже, внутрішні зусилля матимуть наступний вигляд

$$N_c = \int_0^{u_c} f_c(u) f_b(u) \frac{z_c}{u_c} du; \quad (18)$$

$$N_t = \int_0^{u_t} f_t(u) f_b(u) \frac{z_t}{z_u} du; \quad (19)$$

$$M_c = \int_0^{u_c} f_c(u) f_b(u) \frac{z_c}{u_c} u du; \quad (20)$$

$$M_t = \int_0^{u_t} f_t(u) f_b(u) \frac{z_t}{u_t} u du. \quad (21)$$

Отже, встановлено дійсний напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента з врахуванням дії на нього агресивного кислотного середовища та з врахуванням теорій механіки деформівного твердого тіла.

Висновки. 1. Проведено аналіз літературних джерел щодо методик розрахунку згинальних дерев'яних елементів з врахуванням фактору агресивного кислотного середовища.

2. Виявлено, що практично відсутні методики розрахунку елементів за таких умов експлуатації.

3. Встановлено дійсний напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента з врахуванням дії на нього агресивного кислотного середовища з врахуванням дійсних механічних властивостей матеріалу та теорій механіки деформівного твердого тіла.

4. В подальшому необхідно розробити методику розрахунку таких елементів за дії агресивного кислотного середовища.

Список використаних джерел

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. Сашин М.А. Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. 2006. 182 с.

4. Ванин С.И., Прикот Н.Г. Влияние кислот и щелочей на физико-механические свойства древесины. *Труды ЛТА*, 1947. Вып. 61. С. 55-90.

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

6. Гомон Св.Св., Гомон С.С., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Черномаз Н.Ю. Застосування деревини в умовах агресивних середовищ. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2022. Вип.17. С. 15-22.

7. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Вплив агресивного середовища на міцнісні та деформівні показники суцільної деревини хвойних порід. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 2(94). С. 69–80.

8. Гомон Св.Св., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Методика експериментальних досліджень суцільної деревини на стиск уздовж волокон під впливом агресивного середовища. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 39. С. 57–62.

8. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Довбенко Т.О., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Дослідження міцнісних показників деревини під впливом агресивного середовища. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 40. С. 10-17.

9. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Довбенко Т.О. Деформівні показники деревини сосни та берези під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2021. №72. С. 175-179.

10. Homon S., Gomon S., Vereshko O., Matviiuk O. Method of determination the initial elasticity modulus and timber deformation modulus under the influence of acid environment. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2022. Vol 105. No1. P. 29–39.

11. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Дослідження зміни густини деревини листяних та хвойних порід під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2022. №73. С. 265-269.

12. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Укрархбудінформ, 2017. 111с.

13. Eurocode 5. (2004). Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings, 124.

14. Гомон Св.Св., Ясній П.В., Гомон П.С., Ясній В.П. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьовим стиском вздовж волокон: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2023. 316 с.