

**ЩОДО НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ В РОЗРАХУНКУ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**CONCERNING THE NEED TO USE THE DEFORMATION MODEL IN THE CALCULATION OF WOODEN STRUCTURES**

**Гомон С.С., д.т.н., проф.,** ORCID.ORG/0000-0003-2080-5650, **Гомон П.С., к.т.н., доц.,** ORCID.ORG /0000-0002-5312-0351, **Гомон Св. Св., д.т.н., проф.,** ORCID.ORG /0000-0001-9818-1804, **Пугач Ю. В., аспірант,** ORCID.ORG /0009-0002-2496-1159 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),

**Gomon S.S., doctor of technical sciences, professor, Gomon P.S, candidate of technical sciences, associate professor, Gomon S.S., doctor of technical sciences, professor, Puhach Y.V., post-graduate student** (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Теоретично та експериментально досліджено характер розподілу напружень по висоті поперечного перерізу балок із клеєної деревини в зоні чистого згину з армуванням та без нього. Проведено порівняння змін напружень в стиснутій та розтягнутій зонах в неармованих та армованих зразках від початку завантаження і до руйнування. Виявлено зміни положення нейтральної лінії в розрахунковому поперечному перерізі з початку завантаження і до руйнування, що призводить до неможливості використання в розрахунках геометричних характеристик, зокрема, похідних від площі поперечного перерізу таких як момент опору поперечного перерізу  $W_y$  та момент інерції  $I_y$ , бо їх визначення завжди базуються на гіпотезі, що нейтральна силова лінія проходить по центру ваги цього перерізу.

Over the course of many years of research, it has been established that edge stresses are approximately equal, but with opposite signs, only at the initial stage of the operation of wooden bending elements that work under transverse bending. This is also confirmed by the works of many domestic and foreign scientists. Given that the position of the neutral axis in the calculated cross-section changes from the start of loading until failure, the calculation of normal sections of bending elements according to current standards is unreliable due to the assumption taken as an axiom that wood behaves elastically under longitudinal tension, compression, and transverse bending. In a wooden bending element, the material works simultaneously under both compression and tension, meaning they function together. It has been established that the

failure of wooden bending elements in their ultimate state predominantly occurs due to the rupture of the outer layers of the tensioned zone. However, the tensile strength of wood along the grain is almost twice as high as its compressive strength. Such a paradox cannot be explained by current standards. These standards rely on determining physical and mechanical properties according to DSTU EN 408:2007, which does not use the force distribution of the cross-sectional area into compressed and tensioned zones but instead uses the geometric distribution through the center of gravity. Determining the layer-by-layer development of relative deformations across the height of the calculated cross-section for unreinforced or reinforced wooden beams in the pure bending zone at all stages of operation during loading provides an exceptional opportunity to track changes in the position of the neutral axis and stresses at these points. The conditions created for the use of the deformation model for calculating unreinforced and reinforced wooden bending elements, based on the elastic-plastic behavior of the material, completely eliminates these shortcomings. It is proposed to adopt and introduce a deformation model for the calculation of unreinforced and reinforced wooden bending elements based on the elastic-plastic behavior of the material into current standards.

**Ключові слова:**

Деревина, армування, напруження, згин, руйнування.  
Wood, reinforcement, stress, bending, destruction

**Вступ.** Конструкції з клеєної деревини в декілька разів мають меншу масу у порівнянні із залізобетоном чи металом та кращий опір дії хімічно агресивним середовищам та естетичну привабливість, що теж дуже важливо. Порівняно із суцільною деревиною клеєна деревина має більшу міцність та практично не змінює геометричні розміри із часом та зміною вологості. Проте науковці й надалі шукають нові способи покращення характеристик такої деревини, а також удосконалюють елементи та конструкції з її застосуванням. Відтак з'явилися клеєні армовані дерев'яні конструкції із використанням різних видів сталеві арматури та з комбінованим армуванням з використанням високоміцних композитних матеріалів [1-7]. Такі конструкції потребують і нових підходів до їх розрахунків.

**Стан питання та задачі дослідження.** Виходячи з міркувань, що розвиток деформацій деревини вздовж волокон та напружень в стиснутій та розтягнутій зонах розрахункового поперечного перерізу при збільшенні навантажень проходить по різному внаслідок анізотропії, а міцність на розтяг в два рази більша за міцність деревини на стиск, нейтральна силова вісь в згинальному елементі з деревини зміщується до низу [8-10] і не знаходиться в точці центру ваги поперечного перерізу. Таким чином можна констатувати те, що крайові напруження приблизно рівні, тільки з протилежним знаком лише на

початкової стадії роботи деревини згинального елемента, що працює на поперечний згин. Це підтверджується в роботах вітчизняних [8-11] та багатьох зарубіжних вчених [12-16].

**Метою** даної роботи показати необхідність до використання деформаційної моделі розрахунку неармованих та армованих конструкцій з деревини за роботи на поперечний згин на всіх стадіях роботи впродовж завантаження.

**Методика досліджень.** В процесі проведених детальних теоретично-експериментальних досліджень згинальних елементів з деревини встановлено, що розрахунок нормальних перерізів згинальних елементів здійснюється за діючими нормами [17, 18] є недостовірними, тому що базуються на твердженнях і аксіомах пружної роботи деревини за повздовжнього розтягу, стиску та поперечного згину до межі умовної пропорційності. Це твердження повністю спростовує анізотропія деревини в області її роботи на повздовжній розтяг та стиск. Що стосується врахування армування в розрахунку армованих елементів з деревини, яке зовсім в діючих нормах не розглядається і не передбачене. А деякі джерела [19, 20, 21] враховують армування через відношення модулів пружності. Проте цей спосіб не дає розуміння, в яких межах деформування проходить підвищення несучої здатності за рахунок армування особливо для арматури невисокого та середнього класу міцності.

**Результати досліджень.** В згинальному елементі з деревини матеріал працює одночасно на стиск та розтяг, тобто вони працюють сумісно. Крім того руйнування згинальних елементів з деревини в переважній більшості проходить за рахунок руйнування крайніх шарів розтягнутої зони. Проте міцність деревини на розтяг вздовж волокон майже в два рази більша за міцність на стиск. Такий парадокс опираючись на діючі норми [17, 18] пояснити неможливо. Це тому, що норми спираються на визначенні фізичних та механічних властивостей за ДСТУ EN 408:2007 [22], який використовує несиловий розподіл на стиснуту та розтягнуту зони, а геометричний через центр ваги площі поперечного перерізу. Можливість встановлення пошарового розвитку відносних деформацій по висоті розрахункового поперечного перерізу для неармованих чи армованих дерев'яних балок в зоні чистого згину на всіх стадіях роботи впродовж завантаження [8-16] дають виняткову можливість визначати зміну положення нейтральної лінії [23, 24] та напружень в цих точках. В граничному стані нейтральна лінія в згинальному поперечному перерізі розділяє площу на стиснуту та розтягнуту зони приблизно з співвідношенням 60% до 40%. Такі підходи до вивчення роботи деревини в розрахунковому поперечному перерізі дають можливість використати розробки по удосконаленню діючих нормативних документів для розрахунку згинальних дерев'яних елементів та конструкцій [17, 18] на основі запропонованих рекомендацій до використання деформаційної моделі [25]. При цьому в основу розрахункового апарату закладені такі передумови:

а) вводиться поняття “розрахунковий поперечний переріз” для елемента з деревини, зокрема, в цьому терміні пов’язуються умови рівноваги відрізаного перерізу елемента і припущення щодо розподілу деформацій та напружень в цьому перерізі, а також критерій вичерпання несучої здатності;

б) розрахунковим є нормальний переріз до повздовжньої осі елемента, в якому в стиснутій зоні утворюється складка;

в) по висоті розрахункового перерізу для малих деформацій справедлива гіпотеза про лінійний розподіл деформацій;

г) зв’язок між напруженнями і деформаціями розтягнутої деревини приймається у вигляді лінійної залежності,

$$\sigma = E \cdot u \quad (1)$$

д) зв’язок між напруженнями і деформаціями стиснутої деревини приймається у вигляді трансформованої діаграми, що достатньо описувати поліномом другого степеня [10] – (2),

$$\sigma_{c,d} = k_1 u_{c,d} + k_c u_{c,d}^2 \quad (2)$$

Зв’язок між напруженнями і деформаціями стиснутої деревини, що приймається у вигляді трансформованої діаграми також можна описувати іншими функціями, наприклад, поліномом четвертого степеня за рекомендаціями [25].

В разі використання функції (2), коли критичні деформації стиску  $u_{c,fin,d}$  відомі, коефіцієнти пропонується визначати за виразами:

$$K_1 = \frac{2 f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}}; \quad K_c = -\frac{f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}^2} \quad (3)$$

ж) розглядаються елементи з деревини, в яких силові фактори повинні бути прикладені таким чином, щоб не викликати кручення;

з) за розрахункові приймаються характеристичні значення опору деревини в дерев’яному елементі.

Необхідні дані щодо значень величини критичних деформацій  $u_{c,fin,d}$  та граничних деформацій стиску для більше як 100 порід деревини наведені в роботі [26].

Таким чином створені умови для використання деформаційної моделі розрахунку неармованих та армованих згинальних елементів з деревини з урахуванням пружно-пластичної роботи матеріалу на всіх рівнях напружено-деформованого стану від початку завантаження і до руйнування.

**Висновки.** 1. У результаті проведених досліджень були отримані дані щодо недосконалості розрахунку згинальних елементів з неармованої чи армованої деревини за діючими нормативними документами.

2. Натомість запропоновано до використання та введення в діючі норми деформаційної моделі розрахунку неармованих та армованих згинальних елементів з деревини на базі пружно-пластичної роботи матеріалу, яка повністю усуває ці недоліки.

1. Башинський О. І., Боднарчук Т.Б., Пелешко М.З., Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Львів, 2014. №9. С. 184-189.

Bashyns'kyu O. I., Bodnarchuk T.B., Peleshko M.Z. Nesuchya zdatnist' ta vohnestiykist' derev'yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. Visnyk L'viv's'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti. 2014. №9. S. 184-189.

2. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2015. 185 с.

Surmay M. I. Mitsnist' ta deformatyvnist' doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv's'ka politekhnika", 2015. 185 s.

3. Basterra, L.A., Balmori, J.A., Morillas, L.; Acuña, L.; Casado, M. Internal reinforcement of laminated duo beams of low-grade timber with GFRP sheets. Constr. Build. Mater. 2017. №154. Pp. 914–920.

4. Rajczyk, M.; Jończyk, D. Behavior of glulam beams strengthened with BFRP bars. Mater. Sci. Eng. 2019, 603.

5. Rescalvo, F.J.; Valverde-Palacios, I.; Suarez, E.; Gallego, A. Experimental and analytical analysis for bending load capacity of old timber beams with defects when reinforced with carbon fiber strips. Compos. Struct., 2018, 186, Pp. 29–38.

6. Yahyaei-Moayyed M., Taheri F. Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams. Compos. Struct. 2011, 93, Pp. 616–628.

7. Патент на корисну модель № 135229 Україна, МПК E04C 3/12 (2006.01). Клеєна дерев'яна балка / Гомон С.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, Гомон С.С., Поліщук М.В. - № у 201900104; заяв. 03.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. №12.

Patent na korysnu model' № 135229 Ukrayina, MPK E04S 3/12 (2006.01). Kleyena derev'yana balka / Gomon S.S., Polishchuk M.V.; zayavnyky i vlasnyky Natsional'nyu universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya, Homon S.S., Polishchuk M.V. - № u 201900104; zayav. 03.01.2019; opubl. 25.06.2019, Byul. №12.

8. Сасовський Т.А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2016. 200 с.

Sasovs'kyu T.A. Napruzhenodeformovanyy stan balok iz kleynoyi derevyny za diy malotsyklovykh navantazhen': dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Rivne, 2016. 200 s.

9. Павлюк А.П. Напружено-деформований стан елементів з клеєної деревини в умовах косоного згину: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2019. 200 с.

Pavlyuk A.P. Napruzhenodeformovanyy stan elementiv z kleynoyi derevyny v umovakh kosoho zhyynu: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Rivne, 2019. 200s.

10. Гомон С. С. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне : Волинські береги, 2019. 288 с.

Gomon S. S. Napruzhenno-deformovany stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevnyu pry odnorazovykh ta povtomnykh navantazhennyakh: monohrafiya. Rivne : Volyns'ki oberehy, 2019. 288 s.

11. Поліщук М.В. Напружено-деформований стан згинальних елементів з клеєної деревини з комбінованим армуванням: дис. докт. філософії. 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Рівн: НУВГП, 2022. 168 с.

Polishchuk M.V. Napruzhenno-deformovanyu stan z hynal'nykh elementiv z kleynoyi derevnyu z kombinovanyu armuvanniam: dys. dokt. filosofiyi. 192. Rivne. NUVHP, 2022. 168 s.

12. Charalampos Livas, Mats Ekevad, Micael Öhman. Experimental analysis of passively and actively reinforced glued-laminated timber with focus on ductility Wood Material Science & Engineering , Volume 17, 2022 - Issue 2.

13. Minjuan He, Yuxuan Wang, Zheng Li, [Lina Zhou](#), Yichang Tong and [Xiaofeng Sun](#). An Experimental and Analytical Study on the Bending Performance of CFRP-Reinforced Glulam Beams. Front. Mater., 10 January 2022. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.802249>

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

15. X. Guo, F. Zhou, S. Deng, C. Dong. [Study on the Static-Bending Properties of Surface-Reinforced Wood with Asymmetric Fibers](#). *Forests* 2023, 14(12), 2454.

16. Betts S.C., Miller T.H., Gupta R. Location of the neutral axis in wood beams: A preliminary study. Wood Material Science and Engineering, 2010; 5: 173-180.

17. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2017. 111 с.

DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsiyi budy'nkiv i sporud. Derevyani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. K.: Minregion Ukrayiny', 2017. 111 s.

18. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124p.

19. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2000. 304с.

Klymenko V.Z. Konstruktsiyi z dereva i plastmass: navchal'nyu posibnyk. Kyiv: Vyshcha shkola, 2000. 304s.

20. Погореляк А.П., Романюк В.В., Чернолоз В.С., Погореляк О.А. Конструкції з деревини і пластмас. Рівне.: РДТУ, 2001.-392с.

Pohorelyak A.P., Romanyuk V.V., Chornoloz V.S., Pohorelyak O.A. Konstruktsiyi z derevnyu i plastmas. Rivne.: RDTU, 2001.-392s.

21. Гомон С.С. Конструкції з дерева та пластмас : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2016. 219с.

Homon S.S. Konstruktsiyi z dereva ta plastmas : navch. posib. Rivne: NUVHP, 2016. 219s.

22. ДСТУ EN 408:2007. Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей. Київ. Дежспоживстандарт України. 2012.

DSTU EN 408:2007. Lisomaterialy konstruktsiyni. Konstruktsiyna ta kleyna sharuvata derevyna. Vyznachennya deyakyykh fizychnyykh ta mekhanichnykh vlastyvostey. Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2012.

23. Гомон С.С., Пугач Ю.В. Положення нейтральної лінії та його вплив на визначення фактичних механічних характеристик деревини за поперечного вигину.

Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2022. Вип. 42. С.107-115.

Gomon S.S., Puhach YU.V. Polozhennya neytral'noyi liniyi ta yoho vplyv na vyznachennya faktychnykh mekhanichnykh kharakterystyk derevyny za poperechnoho vyhynu. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Vyp. 42.2022. S.107-115.

**24.** Гомон С.С., Гомон С.С., Павлюк А.П., Пугач Ю.В. Щодо удосконалення діючих нормативних документів для розрахунку згинальних дерев'яних елементів та конструкцій. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини. Одеса: ОДАБА, 2023. Вип. 27. С. 67-74.

Gomon S.S., Gomon S.S., Pavlyuk A.P., Puhach YU.V. Shchodo udoskonalennya diyuchykh normatyvnykh dokumentiv dlya rozrakhunku z'hynal'nykh derev'yanykh elementiv ta konstruktsiy. Suchasni budivel'ni konstruktsiyi z metalu ta derevyny, Vypus 27. 2023. S. 67-74.

**25.** Гомон С.С., Бабич Є.М., Павлюк А.П. Розрахунок несучої здатності дерев'яних балок за поперечного згину з використанням деформаційної моделі. Рекомендації. НУВГП. 2019. 28с.

Gomon S.S., Babych YE.M., Pavlyuk A.P. Rozrakhunok nesuchoyi zdatnosti derev'yanykh balok za poperechnoho z'hynu z vykorystanniam deformatsiynoyi modeli. Rekomendatsiyi. NUVHP. 2019. 28s.

**26.** 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 береги, 2023. 316 с.

Gomon Sv. Sv., Yasniy P.V., Gomon P.S., Yasniy V.P. Klashchna model' diysnoyi roboty sutsil'noyi ta modyfikovanoyi derevyny os'ovym styskom vzdovzh volokon: monohrafiya. Rivne : Volyns'ki oberchy, 2023. 316 s.