

**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЄКТУВАННЯ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ЦІЛЬНОЇ ТА КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ З ПАСИВНИМ ТА ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИМ КОМБІНОВАНИМ АРМУВАННЯМ**

**RECOMMENDATIONS FOR THE DESIGN SOLID AND GLUELAMMED WOOD BEAMS WITH PASSIVE AND PRE-STRESSED COMBINED REINFORCEMENT**

**Бабич Є. М., д.т.н., проф., ORCID.ORG / 0000-0003-1746-9991, Гомон П. С., к.т.н., доцент, докторант, ORCID.ORG /0000-0002-5312-0351 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне),**

**Babich E. M., doctor of technical sciences, professor, Gomon P. S., PhD, associate professor; doctoral student (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)**

Запропоновано рекомендації на основі проведених теоретичних та практичних досліджень, щодо конструювання згинальних елементів з цільної та клеєної деревини з пасивним та попередньо-напруженим комбінованим армуванням. Наведена поетапна послідовність виконання проєктування згинальних дерев'яних елементів з перевіркою за першою та другою групою граничних станів. Описана послідовність перевірки несучої здатності згинального елемента. Встановлено, необхідність у визначенні напружено-деформованого стану елемента з побудовою графіків залежності кривини від дії моменту.

Wood is one of the most needed natural materials on the planet. At the same time, it is a renewable material. For more than one century, wood has been used as a building material. In modern construction, most structures are used as processed wood. Modern production allows using high-tech equipment to produce glued wood of various sizes. It is the use of wood in glued construction that allows you to expand the range of its use. It is this version of wooden structures that is used in massive structures such as halls, bridges, and stadiums. However, technological growth should not stand still, so there is a need to increase the rigidity and reliability of these structures. The best way to increase stiffness and reliability is to create a composition with stiffer, stronger and more reliable materials. Previously, we gave the definition of the stress-strain state of bending wooden elements with passive reinforcement and the definition of tangential stresses in wooden beams taking into account the nonlinearity of material deformation. In previous works, the method of modeling the work of wooden beams with sequential loading was described. The simulation of cross-sections of flexural wooden elements under different options

and percentages of reinforcement was described. for prestressed elements and without prestressing. Also, our work was aimed at determining the deflections of bending wooden elements with various reinforcement options and with prestressing. However, taking into account the description of the work of reinforced and non-reinforced wood, no recommendations were provided for the design and calculation of the bearing capacity of such structures. The work describes the design of wooden bending elements based on the main previously published scientific works. The article also touches on the problem of the strength of bending wooden elements under the action of maximum normal stresses, tangential stresses and maximum bending deflection. Based on the theoretical and practical studies, recommendations were given for the design of bending elements from solid and glued wood with passive and pre-stressed combined reinforcement. It is established that determination of strength and design of wooden beams have a similar step-by-step verification for limit states of the first and second groups. At the same time, it is necessary to calculate the stress-strain limit state of the cross-section and establish the dependence of the curvature of the cross-section on the action of the external moment.

**Ключові слова:**

Дерев'яні конструкції, балки, армування, попереднє напруження.  
Wooden structures, beams, reinforcement, prestressing.

Вступ. Деревина є одною із найбільш необхідних природних матеріалів на планеті для використання в багатьох галузях. При цьому вона є відновлювальним матеріалом. Протягом не одного століття деревина використовується, як будівельний матеріал. На даний час у будівництві в більшості конструкцій використовуються оброблена деревина. Сучасне ж виробництво дозволяє за допомогою високотехнологічного обладнання виготовляти клеєну деревину різних розмірів і це дозволяє розширити спектр її доцільного використання. Саме такий варіант дерев'яних конструкцій застосовується у великопротітних спорудах таких як зали, мости, стадіони. Проте, технологічний розвиток не повинен стояти на місці, тому є необхідність в збільшенні жорсткості та надійності даних конструкцій. Найкращим способом для збільшення жорсткості та надійності є створення композиції на основі деревини з більш жорсткими, міцними та надійними матеріалами.

Стан питання та задачі дослідження. За останні десятиліття дослідження дерев'яних армованих конструкцій набуло широкої популярності. Це підтверджує велика кількість наукових праць українських та зарубіжних вчених. Всі вчені котрі займалися даним питанням підтверджують, що використання армування в дерев'яних конструкціях збільшує їх жорсткість [1-3]. Збільшення жорсткості дозволяє зменшити прогин згинального елемента та використовувати елемент для перекриття більших прольотів. Саме ці два аспекти виводить дерев'яні конструкції на інший рівень. В свою чергу,

розвиток армопластів та доступність синтетичних волокон зробили саме композитну арматуру ефективною альтернативою при армуванні деревини. Проведені дослідження українських та іноземних науковців підтвердили хороші варіанти підсилення згинальних елементів з деревини застосуванням металевих та композитних армуючих елементів [4, 5].

В роботах [6,7] було розроблено способи визначення напружено-деформованого стану розрахункового нормального поперечного перерізу згинальних дерев'яних елементів з пасивним армуванням за сприйняття зростаючого зовнішнього навантаження та визначення дотичних напружень з врахуванням нелінійності деформування матеріалу [8]. В роботі [9] було описано розроблену методику моделювання роботи дерев'яних балок з послідовним звантаженням, а в [10, 11] описано моделювання роботи нормальних поперечних перерізів згинальних дерев'яних елементів за різних варіантів та відсотків армування для пасивно та попередньо напружених елементів. Також роботи [12-13] були спрямовані на визначення прогинів згинальних дерев'яних елементів з різними варіантами армування та з попереднім напруженням. Проте, враховуючи опис роботи армованої і не армованої деревини, були не надані рекомендації по проектуванню та розрахунку несучої здатності таких конструкцій.

Метою даної роботи є на основі проведених досліджень, як теоретичних так і практичних надати рекомендації щодо конструювання згинальних елементів з цільної та клеєної деревини з пасивним та попередньо-напруженим комбінованим армуванням.

Передумови проектування та перевірки несучої здатності. При проектуванні дерев'яних згинальних елементів інженер-конструктор повинен забезпечити міцність, надійність та економічність конструкції. Тому слід передбачати можливі варіанти руйнування та виходу конструкції з нормальної експлуатації. Схема підбору та перевірки елементів з деревини можна зобразити на схемі рисунку 1.

Як видно з рис. 1, запропонована схема для проектування та перевірки конструкцій є схожими. Вони відрізняються лише тим, що при проектуванні потрібно встановлювати геометричні характеристики поперечного перерізу дерев'яної балки. Слід зауважити, що проектування конструкцій в залежності від допустимого прогину є досить важливими, тому що саме граничний стан по непридатності до нормальної експлуатації наступає раніше. Проте і перевірка на міцність за нормальними та дотичними напруженнями є обов'язковими.

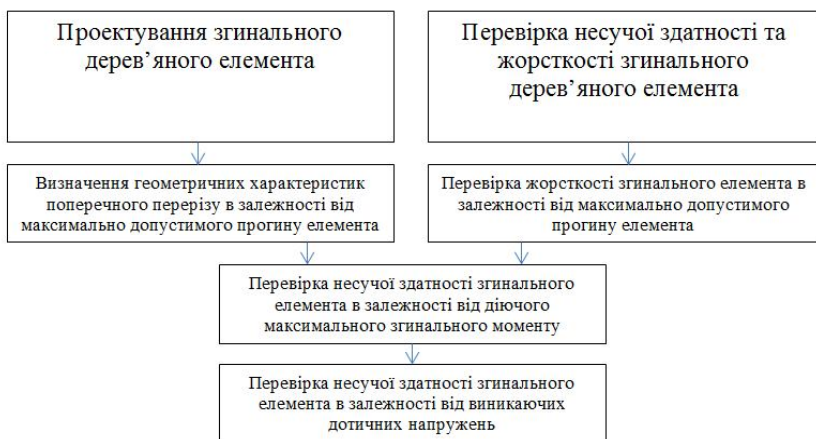


Рис. 1. Схема послідовності підбору та перевірки дерев'яних згинальних елементів

Як відомо, для досягнення більшої ефективності дерев'яних конструкцій слід проектувати поперечний переріз, якомога вищим. Тому зазвичай висоту перерізу дерев'яного елемента вибирають або за обмеженістю сортамента, або з врахуванням втрати загальної стійкості. Тому, зазвичай співвідношення ширини перерізу до висоти слід приймати близьким до 1:3. Тоді як ефективну довжину згинального елемента можна визначити з графіку, який зображений на рис. 5 [14], врахувавши співвідношення 1 до 3. Якщо таким чином запроєктувати згинальний елемент то їх несуча здатність буде вичерпуватись одночасно і за другою групою граничних станів (граничним прогином) і при досягненні максимальних значень несучої здатності по нормальним перерізам.

Проектування дерев'яного згинального елемента слід проводити в такій послідовності:

1) Визначення геометричних перерізу в залежності від розрахункового прольоту, з врахуванням графіку рис.5 [14].

2) Побудова графіку момент-кривина для визначеного перерізу з заданими характеристиками (детально описано в роботах: [6] для балок без армування; [7] для балок з армуванням та [8] для елементів з попереднім напруженням) та апроксимація його до функцій.

3) Встановлення допустиме навантаження, при якому досягається максимально допустимий прогин  $M_{defl}$ . Для цього шляхом інтегрування по довжині балки або методом скінченних елементів слід визначити прогин, для різного рівня навантаження з врахуванням закріплення згинального елемента [14].

4) За графіком момент-кривина визначити максимальний згинальний момент, що може сприйняти поперечний переріз дерев'яної балки та визначити зовнішнє навантаження при якому досягається цей згинальний момент.

5) Обрати з двох варіантів зовнішнього навантаження граничне (менше з двох).

6) Перевірити міцність згинального дерев'яного елемента за дотичними напруженнями використовуючи розробки [8].

7) Встановити необхідну кількість елементів необхідних для сприйняття навантаження.

Перевірка несучої здатності та жорсткості згинального дерев'яного елемента необхідно виконувати в такій послідовності:

1) Побудувати графік «момент-кривина» для визначеного перерізу з заданими характеристиками (детально описано в роботах: [6-8]), та провести його апроксимацію до функцій.

2) Встановити допустиме навантаження, при якому досягається максимально допустимий прогин  $M_{defl}$ . Для цього шляхом інтегрування по довжині балки або методом скінченних елементів слід визначити прогин з врахуванням закріплення згинального елемента [14]. Провести порівняння граничного навантаження з прикладеним навантаженням.

3) За графіком «момент-кривина» визначити максимальний згинальний момент, що може сприйняти поперечний переріз дерев'яної балки. Порівняти діючий максимальний момент від зовнішнього навантаження, що діє на згинальний елемент з максимальним моментом, що може сприйняти поперечний переріз [8].

4) Перевірити міцність згинального дерев'яного елемента за дотичними напруженнями використовуючи розробки [8].

5) Зробити висновки по обґрунтуванню несучої здатності згинального дерев'яного елемента.

**Висновки.** На основі проведених теоретичних та практичних напрацювань було надано рекомендації, щодо конструювання згинальних елементів з цільної та клеєної деревини з пасивним та попередньо-напруженим комбінованим армуванням. Встановлено, що визначення несучої здатності та проектування проходять досить схожу поетапну перевірку за граничними станами першої та другої групи. При цьому є обов'язковим визначення напружено-деформованого граничного стану поперечного перерізу та встановлення залежності кривини перерізу від дії зовнішнього моменту.

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. Nesucha zdatnist' ta vohnestiykist' derev'yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti. 2014. №9. S. 184-189.

2. Демчина Б. Г., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок армованих неметалевою арматурою. Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд: Вісник ДонНАБА. Вип. 5 (85). Т. II. Макіївка: ДонНАБА, 2010. С. 193-197.

Demchyna B. H., Surmay M.I., Kravz A.R., Blyakhar T.Y. Dosvid vyhotovlennya doshchatokleyenykh balok armovanykh nemetalevoyu armaturoyu. Suchasni budivel'ni materialy, konstruktsiyi ta innovatsiyni tekhnolohiyi zvedennya budivel' i sporud: Visnyk DonNABA. Vyp. 5 (85). T. II. Makiyivka: DonNABA, 2010. s. 193-197.

3. Єрмоленко Д.А., Іщенко М.С. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 2 (47). С. 140-147.

Yermolenko D.A., Ishchenko M.S. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleyenykh derev'yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.

4. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Нац. ун-т "Львівська політехніка". 2015. 185 с.

Surmay M. I. Mitsnist' ta deformatyvnist' doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoju ta bazal'tovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Nats. un-t "L'vivs'ka politekhnika". 2015. 185 s.

5. Alann André, Robert Kliger. STRENGTHENING OF TIMBER BEAMS USING FRP, WITH EMPHASIS ON COMPRESSION STRENGTH: A STATE OF THE ART REVIEW. APFIS 2009.

6. Гомон П.С. Напружено-деформований стан балок із деревини з комбінованим армуванням на різних рівнях завантажень. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ, 2022. Випуск 17. С. 23-30.

Homon P.S. Napruzhenodeformovanyi stan balok iz derevyny z kombinovanyum armuvanniam na ryznykh rivniakh zavantazhen. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Lutsk: LNTU, 2022. Vypusk 17. S. 23-30.

7. Гомон П.С. Визначення напружено-деформованого стану згинальних дерев'яних елементів підсилених композитними та металевими матеріалами. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 42. С. 99-106.

Homon P.S. Vyznachennia napruzhenodeformovanoho stanu zghynalnykh derevianykh elementiv pidsylenykh kompozytnymu ta metalevymu materialamy. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2022. Vyp. 42. S. 99-106.

8. Гомон П.С., Олексін І.О. Визначення дотичних напружень в дерев'яних балках з врахуванням нелінійності деформування матеріалу. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 41. С. 126-134.

Homon P.S., Oleksin I.O. Vyznachennia dotychnykh napruzhen v derevianykh balkakh z vrakhuvanniam neliniinosti deformuvannia materialu. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2022. Vyp. 41. S. 126-134.

9. Гомон П.С. Моделювання роботи дерев'яної балки з послідовним завантаженням. Містобудування та територіальне планування. Київ: КНУБА, 2022. №80. С. 159-165.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty derevianoj balky z poslidovnym zavantazhenniam. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Kyiv: KNUBA, 2022. №80. S. 159-165.

**10.** Гомон П.С. Моделювання роботи поперечних перерізів дерев'яних елементів за різних варіантів та відсотків армування. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ: КНУБА, 2022. Випуск 64. С. 334-342.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty poperechnykh pereriziv derevianykh elementiv za riznykh variantiv ta vidsotkiv armuvannia. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Kyiv: KNUBA, 2022. Vypusk 64. S. 334-342.

**11.** Гомон П.С. Моделювання роботи підсиленого попередньо напруженого згинального дерев'яного елемента. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини. Одеса: ОДАБА, 2023. Випуск №27. С. 59-66.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty pidsylenoho poperedno napruzhenoho zghynalnoho derevianoho elementu. Suchasni budivelni konstruktсии z metalu ta derevyny. Odesa: ODABA, 2023. Vypusk №27. S. 59-66.

**12.** Gomon P., Gomon S., Pavluk A., Homon S., Chapiuk O., Melnyk Yu. (2023). Innovative method for calculating deflections of wooden beams based on the moment-curvature graph. *Procedia Structural Integrity* 48, Pp. 195-200.

<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.148>

**13.** Homon, S., Litnitsky, S., Gomon, P., Kulakovskiy, L., & Kutsyna, I. (2023). Methods for determining the critical deformations of wood with various moisture content. *Scientific Horizons*, 26(1), 73-86.

[https://doi.org/10.48077/scihor.26\(1\).2023.73-86](https://doi.org/10.48077/scihor.26(1).2023.73-86)

**14.** Гомон П.С. Визначення прогинів дерев'яних згинальних елементів з урахуванням нелінійності деформування деревини. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2022. Випуск 2(98). С. 183-192.

Homon P.S. Vyznachennia prohnyv derevianykh zghynalnykh elementiv z urakhuvanniam neliniynosti deformuvannia derevyny. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Tekhniczni nauky». Rivne: NUVHP, 2022. Vypusk 2(98). S. 183-192.