

ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ БАЛОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ЗА РАХУНОК РІЗНИХ ВИДІВ АРМУВАННЯ

INCREASING THE COMPETITIVENESS OF WOOD BEAMS DUE TO DIFFERENT TYPES OF REINFORCEMENT

Гомон С. С., д.т.н., проф., ORCID.ORG /0000-0002-5312-0351, Поліщук М. В., доктор філософії, ORCID.ORG /0000-0003-1981-8008, 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, Polishchuk M. V., PhD, Puhash Y.V., post-graduate student (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Проведено експериментально-теоретичний аналіз роботи дерев'яних балок з суцільної та клеєної деревини за прямого поперечного згину. Встановлено, що багато авторів, які проводили експериментальні та теоретичні дослідження роботи балок з деревини, вказують на те, що елементи з деревини в умовах прямого поперечного згину можуть конкурувати з елементами із залізобетону чи металу. Отже, для реальної конкуренції необхідно проводити ряд удосконалень балок з деревини, що працюють на поперечний згин.

The competition in using different materials in building structures makes it possible to create a variety of designs and architectural forms of buildings and structures for different purposes. However, wood is a material that not only adds visual beauty to the premises, but is also an environmentally friendly material. Wood gives a feeling of cosiness and comfort. Moreover, compared to the same structures made of other materials, wooden structures require the least amount of energy to produce.

To increase the competitiveness of wood in building and to reduce the disadvantages of this natural material, scientists invented and proposed using glued wood. Reinforcement of wooden beams with steel and later with polymeric reinforcement of a periodic profile made it possible to increase their load-bearing capacity by 1.5-2 times without increasing their actual weight. Symmetrical reinforcement of the profile with values of the reinforcement coefficient within $\mu = 1.2...3.5\%$ is rational. Reinforcement of wooden beams in the tension zone with high-strength composite tapes and webs, together with the use of high-strength reinforcement of class A600 and higher in the compression zone, makes it possible to further increase the load-bearing capacity of the structure. This combined passive reinforcement enables a timber beam to compete with a reinforced concrete beam in terms of load-bearing capacity.

The use of pre-stressed combined reinforced timber beams makes it possible to bring the load-bearing capacity of these beams up to the load-bearing capacity of reinforced concrete beams with the same cross-sections, but with 4-5 times less weight. Prestressing of the combined reinforcement makes it possible to increase the bearing capacity in the second group of limit states.

Ключові слова:

Деревина, армування, напруження, згин
Wood, reinforcement, stress, bending

Вступ. Конкуренція у використанні будівельних конструкцій в будівництві з різних матеріалів, між собою, сприяє створенню різноманіття дизайну та архітектурних форм будівель і споруд різного призначення. Проте деревина, що використовується в будівництві, на відміну від інших матеріалів, є не просто будівельним матеріалом, а для людини вона має велике психологічне значення. Ще в давнину люди вірили, та й вірять донині, що дерево наділено магічними властивостями й допомагає людям своєю енергетикою. Сьогодні ж деревина є тим матеріалом, що надає помешканням не тільки візуальної краси, а є екологічно чистим матеріалом і створює почуття затишку та комфорту. Крім того для виготовлення дерев'яних конструкцій витрачається найменше енергії порівняно з такими ж будівельними конструкціями, виготовлених з інших матеріалів. Тобто, їх використання приводить до найменшого забруднення навколишнього середовища. Таким чином використання деревини є одним з найбільш ефективних механізмів зниження викидів CO₂ при зведенні будівель [1]. Деревина легко піддається вторинній обробці та багаторазовому повторному використанню і простій утилізації, ще й при цьому повністю розкладається у природі. Але разом з цим, деревина є єдиним матеріалом, який постійно відновлюється в природі.

Проте деревина - це природний матеріал, який має деякі суттєві недоліки, такі як природні сучки, косо шаруватість, розтріскування, деформування тощо. Всі вони можуть бути певною мірою усунені.

Викладення основного матеріалу. Як перший крок підвищення конкурентоздатності деревини в будівництві та зменшення недоліків природного матеріалу науковцями різних країн більше сто років назад було винайдено та запропоновано до застосування клеєну деревину (англ. Glued Laminated Timber, GLT), яка має ряд переваг. Будівельні конструкції з клеєної деревини мають досить високу міцність і здатні перекривати великі прольоти, а також мають меншу усадку та менші деформації. У порівнянні із аналогічними сталевими чи залізобетонними конструкціями, клеєний брус потребує меншої кількості вертикальних опор при перекритті великих прольотів та має значно меншу власну вагу. Так при перекритті прольотів від 20 м можна скоротити витрати на будівництво до 30 %, оскільки конструкції з клеєної деревини є у 3-5 разів легшими своїх сталевих чи залізобетонних

аналогів, внаслідок чого знижуються витрати на фундаменти, а також підвищується швидкість будівництва за рахунок поставки на будівельний майданчик усіх необхідних елементів високої заводської готовності [2, 3].

Як продовження удосконалення конструкцій з деревини почалося впровадження пошарово клеєної деревини зі шпону (англ. Laminated Veneer Lumber, LVL) та армованої сталлюююю арматурою деревини. В світі виробництво пошарово клеєної деревини зі шпону започатковано в середині 50-х років попереднього століття. Технологія виробництва пошарово клеєної деревини зі шпону дозволяє обробляти малоцінну деревину (наприклад, дрібні дерева), яку не можна використовувати для виробництва конструкцій з цільної деревини [4]. Бруси з пошарово клеєної деревини зі шпону мають високу однорідність та покращені механічні властивості у порівнянні з суцільною та навіть і клеєною деревиною. За умовами використання бруси LVL можна застосовувати в умовах експлуатації як за стандартної, так і за підвищеної вологості.

Спроба раціонального застосування сталі при армуванні деревини була здійснена Х. Гранхольмом в 1954 р [5]. Він вклеював сталеві стержні у пазах, вирізаних у верхній і нижній гранях дерев'яних конструкцій. Вклеювались стержні вже за допомогою, можна сказати, сучасних полімерних клеїв. Значні за своїми обсягами випробування армованих балок з сталлюююю арматурою проведені у другій половині минулого століття, дозволили встановити певні закономірності, отримані в результаті підсилення:

- ефект від підсилення є тим більшим, чим кращим є зчеплення арматури з деревиною;
- найбільш ефективним є подвійне армування балок, при якому арматура розміщується і в стиснутій і розтягнутій зонах;
- при армуванні конструкцій арматурою періодичного профілю досягаються показники міцності у 1,5-2 рази вищі, порівняно з неармованими зразками, практично, без збільшення власної ваги;
- значення коефіцієнта армування перерізу раціонально приймати в межах $\mu = 1,2...3,5\%$.

З'єднання ж арматури з деревиною за допомогою полімерних клеїв повною мірою забезпечує їх сумісну роботу від початку завантаження й до руйнування, як було встановлено багатьма дослідженнями [5, 6, 7, 8, 9]. Установлено, що найкращим ефективним розчином для вклеювання сталлюююю арматури є клей на основі епоксидних смол з наповнювачами, якими можуть виступати пісок, цемент, каолін, тальк. Але і до цього часу, мало хто з дослідників та проєктантів враховує той факт, що для досягнення найбільшого сумісного ефекту роботи при армуванні дерев'яних конструкцій необхідно використовувати високоміцну арматуру. Високоміцна арматура здатна збільшувати несучу здатність на всьому протязі роботи згинального елемента, забезпечивши сумісне деформування сталі до межі відносних граничних деформацій деревини за стиску та розтягу, яка є в межах $u=30...37 \cdot 10^{-4}$ (рис.1).

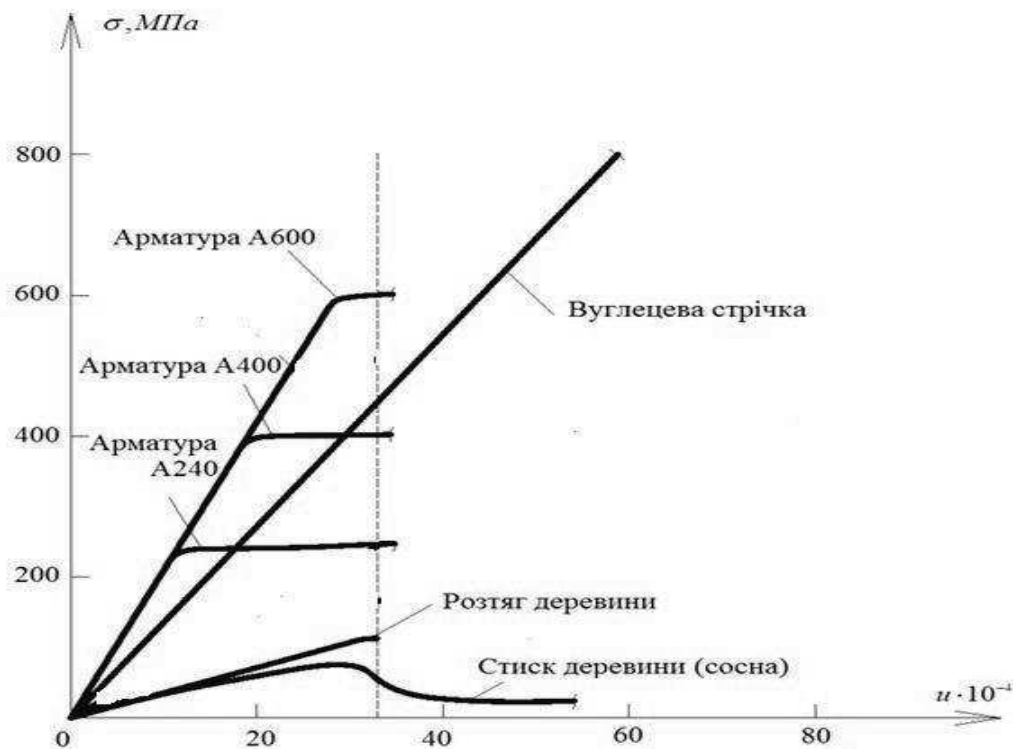


Рис.1 Суміщені діаграми деформування матеріалів

Часто у процесі тривалої експлуатації будівельних конструкцій виникають пошкодження та дефекти, що зменшують їх несучу здатність. Із плином часу кількість будівель, що потребують виконання заходів з реконструкції лише зростає, а тому актуальним є і питання підсилення елементів, зокрема за допомогою сучасних композитних матеріалів. Проте чинні норми [10, 11] не передбачають проектування армованих конструкцій з деревини чи то з сталевую чи то з композитною пластиковою арматурою. Немає і унормованих методів розрахунку таких конструкцій. Але підсилення розтягнутої зони дерев'яних балок за допомогою високоміцних композитних стрічок та полотен поряд з використанням в стиснутій зоні високоміцної арматури класу А600 і вище, дає можливість ще підвищити несучу здатність конструкції, що згинаються. Підсилення з використанням цих матеріалів має ряд переваг, оскільки вони при влаштуванні не потребують складних механізмів чи риштувань, є легкими, міцними, стійкими до корозії та ін.

Такий вид підсилення розглянуто, в основному, для перекриття, коли можливо розвантажити конструкцію для встановлення арматури в стиснутій зоні. В цьому випадку армована балка з деревини працює на всіх стадіях напружено-деформованого стану [12, 13] і може бути розрахована за методикою [14, 15].

На основі проведених випробувань дерев'яних балок на поперечний згин в лабораторних умовах були отримані нові дані щодо деформування сталевий й композитної арматури (вуглецевої стрічки) та деревини в розрахунковому поперечному перерізі. А також встановлено хорошу сумісну роботу кожного виду арматури з шарами деревини від початку завантаження і до руйнування.

Використання ж попередньо напружених армованих балок з деревини [16] в новому будівництві чи при капітальному ремонті дає можливість довести несучу здатність цих балок до несучої здатності залізобетонних балок за однакових поперечних перерізів, але з масою в 4-5 разів меншою.

Висновок. Використання попередньо напружених комбіновано армованих балок з деревини дає можливість довести несучу здатність до несучої здатності залізобетонних балок, як за першою, так і за другою групою граничних станів, зі значно меншою власною масою.

1. Glued Laminated Timber (Glulam), Cross-Laminated Timber (CLT), Laminated Veneer Lumber (LVL), Laminated Strand Lumber (LSL), and Parallel Strand Lumber. URL: <https://ownwoodenhouse.com/index.pl?act=PRODUCT-&id=227#>.

2. Клеєні дерев'яні конструкції - матеріал майбутнього. Критерії вибору матеріалів для будівництва. URL : <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5613>.

Kleyeni derev'yani konstruktsiyi - material maybutn'oho. Kryteriyi vyboru materialiv dlya budivnytstva. URL : <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5613>.

3. Glue Laminated Construction. – 2010. URL: <http://buildipedia.com/knowledgebase/division-06-wood-plastics-and-composites/06-10-00-rough-carpentry/06-18-00-glue-laminated-construction/06-18-00-glue-laminated-construction>.

4. Гомон С.С., Свиридюк О.Б. Область застосування та перспективи використання lvl-композитів в Україні. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Вип. 19. 2023. С. 42-50.

Homon S.S., Svyrydyuk O.B. Oblast' zastosuvannya ta perespektyvy vykorystannya lvl-kompozytiv v Ukrayini. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Vyp. 19. 2023. S. 42-50.

5. 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, 2015. 185 s.

6. Поліщук М. В., Гомон С.С. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. Вісник Львівського національного аграрного університету: Архітектура і сільськогосподарське будівництво № 20 : 2019. с. 44-49.

Polishchuk M. V., Gomon S.S. Vlashtuvannya kombinovanoho armuvannya balok iz kleyenoyi derevyny. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu: Arkhitektura i sil's'kohospodars'ke budivnytstvo № 20 : 2019. s. 44-49.

7. 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' kleyeniykh derev'yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.

8. Yang Wei, M. Zhou, D. J. Chen. Flexural behaviour of glulam bamboo beams reinforced with near-surface mounted steel bars. Materials Science. 2015.

9. P. Alam, M.P. Ansell, D. Smedley. Mechanical repair of **timber** beams fractured in flexure using bonded-in reinforcements *Compos B Eng*, 40 (2) (2009), pp. 95-106.
10. 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. Konstrukciyi budy`nkiv i sporud. Derev'yani konstrukciyi. Osnovni polozhennya. K.: Minregion Ukrayiny`, 2017. 111 s.
11. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124p.
12. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовский Т.А. Діаграми механічного стану деревини сосни за повторного деформування до повної втрати міцності матеріалу. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2012. Випуск 24. С. 106-112.
Homon S.S., Homon S.S., Sasovskyy T.A. Diahramy mekhanichnoho stanu derevyny sosny za povtornooho deformuvannya do povnoyi vtraty mitsnosti materialu. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. Rivne, 2012. Vypusk 24. S. 106-112.
13. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне, 2011. Випуск 21. С. 176-180.
Gomon S.S. Stadiyi napruzhenno-deformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z'hyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. Rivne, 2011. Vypusk 21. S. 176-180.
14. Бабич Є.М., Гомон С.С. Особливості розрахунку елементів з деревини при прямому поперечному згині за деформаційною методикою. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць. Луцьк, 2019. Випуск 12. С. 21-30. [https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-03](https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-03).
Babych YE.M., Gomon S.S. Osoblyvosti rozrakhunku elementiv z derevyny pry pryamomu poperechnomu z'hyni za deformatsiynoyu metodykoyu. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Zbirnyk naukovykh prats'. Luts'k, 2019. Vypusk 12. S. 21-30. [https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-03](https://DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-03).
15. Гомон С.С. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2019.–288с.
Gomon S.S. Napruzhenno–deformovanyy stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh: monohrafiya. Rivne: Volyns'kioberehy, 2019.–288s.
16. Патент № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок з клеєної деревини./ Гомон С.С., Гомон П.С., Поліщук М.В. ; заявник і патентовласник НУВГП - u2020 00431; заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14.
Patent № 143340 Ukrayina, MPK E04S 3/26 (2006.01). Sposib napruzhennya zovnishn'oyi strichkovoyi armatury balok z kleyenoyi derevyny./ Gomon S.S., Homon P.S., Polishchuk M.V. ; zayavnyk i patentovlasnyk NUVHP - u2020 00431; zayav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Vyul. №14.