

УДК 624.011

doi:10.31650/2707-3068-2024-28-114-120

ЛОКАЛЬНЕ ТА ГЛОБАЛЬНЕ ПІДСИЛЕННЯ БАЛОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Гомон С.С., д.т.н., проф.,

s.s.homon@nuwm.edu.ua ORCID: 0000-0003-2080-5650

Гомон Св.Св., д.т.н., проф.,

s.s.gomon@nuwm.edu.ua ORCID: 0000-0001-9818-1804

Пугач Ю.В., аспірант,

y.v.puhach@nuwm.edu.ua ORCID: 0009-0002-2496-1159

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

Анотація: В цій роботі представлено сучасні методи реабілітації та підсилення цільної, клеєної балки чи бруса з деревини, які можуть бути використані під час експлуатації в будівлях та спорудах. Розглянуто локальні та глобальні методи підсилення.

У роботі представлено сучасні комплексні методи відновлення та армування клеєних дерев'яних балок або брусів, які можуть бути використані при їх експлуатації в будівлях. Локальне або глобальне посилення дерев'яних елементів з масиву або клеєної деревини, які піддаються поперечному вигину, необхідно виконувати з повним або частковим розвантаженням конструкції.

Ефект посилення більший при повному розвантаженні конструкції в порівнянні з частковим розвантаженням. Місцеве зміцнення конструкції шляхом зміни фізико-механічних властивостей матеріалу в проблемних зонах часто включає ін'єкцію тріщин за допомогою клею з подальшим застосуванням вибраної системи зміцнення.

Ключові слова: клеєна деревина, суцільна деревина, балка, несуча здатність, армована деревина.

Вступ. За рахунок простоти монтажу та обробки деревина давно займає передові позиції при виготовленні простих елементів та складних конструкцій. Застосування ж клеєної деревини, яка виготовляється шляхом з'єднання окремих дощок в пакет пошарово, дозволяє звести до мінімуму вплив природних вад. Крім цього, за останній час зросла кількість виробів не тільки з клеєної деревини (клеєний брус), а також із сконструйованого бруса зі шпону (LVL) та поперечно-клеєної або поперечно-ламінованої деревини. Але все ж на сьогодні є необхідним та актуальним залишається проводити зміцнення існуючих дерев'яних конструкцій чи поліпшення механічних властивостей нових.

Постановка проблеми. Використання у будівельних конструкціях деревини при проектуванні та будівництві дає можливість створювати різноманітні архітектурних форм будівель і споруд різного призначення. Найчастіше в капітальному будівництві будівель використовують деревину у якості згинальних елементів покриття та перекриття. Але часто елементи з деревини мають недостатню несучу здатність чи жорсткість на початковій стадії їх використання, або ж втрачають її під час експлуатації і тому потребують підсилення локально чи глобального в цілому.

Аналіз останніх джерел досліджень та публікацій. Необхідність ремонту та підсилення старих дерев'яних конструкцій, що працюють на прямий поперечний згин, не викликає сумніву. Часто ці конструкції замінюють сталевими чи залізобетонними. Але такі рішення занадто поспішні, бо дерев'яні елементи за таких рішень демонтуються, хоча вони після підсилення пасивним армуванням могли б належно виконувати свої функції на весь період подальшої експлуатації.

Дослідження, пов'язані з відновленням та посиленням дерев'яних балок для покращення механічних властивостей та підвищення несучої здатності проводяться більше 60 років

(Wandgaard, 1964). Найбільше досліджень були спрямовані на виявлення впливу різних видів пасивного армування балок з деревини та впливу посилення їх полімерами (FRP). Хоча механічні властивості деревини обмежені природою, використання армування полімерними матеріалами FRP на дерев'яному брусі підвищує міцність, як локально, так і глобально в цілому. Це дає можливість використання деревини нижчих класів і дає можливість матеріалу мати більш пластичну поведінку в своїй роботі. Нині підсилення балок з цільної і клеєної деревини в основному проводять для того, щоб покращити їх роботу в розтягнутій зоні за сприймання прямого поперечного згинального моменту від дії зовнішніх навантажень.

За проведеним аналізом напрацювань дослідників різних країн [1-9] процес підсилення можна розділити:

1) локальне підсилення конструкції за рахунок зміни фізико-механічних властивостей матеріалу в проблемних місцях – сучків, утворення тріщин, на невеликих об'ємах початкової стадії загнивання, тощо;

2) глобальне підсилення за рахунок пасивного армування в результаті поверхневого кріплення полімерних стрічок FRP в розтягнутій зоні, чи за рахунок вставлення арматурних сталевих чи полімерних стержнів чи пластин вставлених в пази в цій же зоні для досягнення відмов у роботі елемента внаслідок пластичного руйнування стиснутої зони (рис.1);

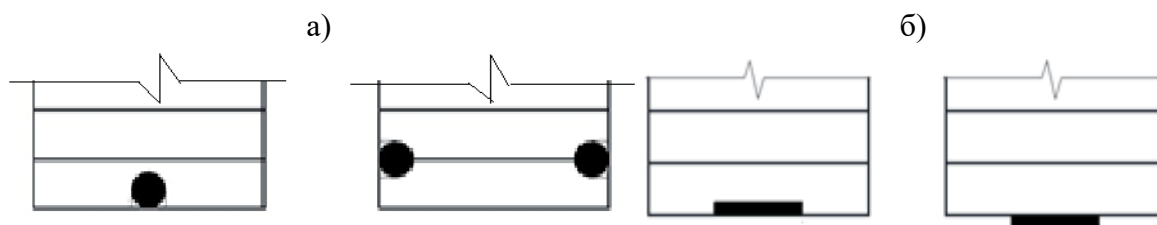


Рис.1. Підсилення розтягнутої зони клеєних згинальних елементів: а) за рахунок вклеєних арматурних стержнів; б) полімерних сталевих стрічок

3) глобальне підсилення елемента з деревини за рахунок подвійного армування яке вважається більш ефективним (рис.2).

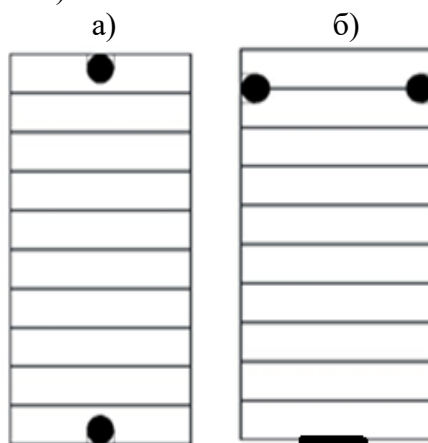


Рис. 2. Підсилення клеєних згинальних елементів за рахунок подвійного армування: а) з вільним доступом до верхнього поясу; б) без доступу до верхнього поясу

У багатьох іноземних країнах використання сталевих арматур та композитних матеріалів для армування дерев'яних елементів не є новим. Але в чинних нормах, ні в країнах Євросоюзу [10], ні в Україні [11] підсилення дерев'яних елементів за допомогою армування ніяким чином не відображено і ніде не регламентується. Дослідження підсилення клеєних дерев'яних балок армуванням із застосуванням сталевих арматур чи композитних полімерних матеріалів на базі скляних, базальтових та вуглецевих волокон широко представлене в роботах [12-18] та інших.

Постановка цілей і завдань досліджень. Мета роботи – провести аналіз щодо використання ефективності відновлення та підсилення елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють за прямого поперечного згину.

Викладення основного матеріалу. Локальне чи глобальне підсилення дерев'яних згинальних елементів з цільної чи клеєної деревини, яке необхідно виконати під час експлуатації, проводять з повним або частковим розвантаженням конструкції. Ефект підсилення при повному розвантаженні конструкції більший в порівнянні з частковим. Елементи підсилення при проведенні робіт на повністю розвантаженій конструкції включаються в роботу з початком нового завантаження разом з деревиною.

Локальне підсилення конструкції за рахунок зміни фізико-механічних властивостей матеріалу в проблемних місцях часто передбачає ін'єкцію тріщин клеями з наступним нанесенням обраної системи зміцнення. Цікаво відзначити, що на початку ін'єкційної технології з деревиною (запозичене з практики ремонту бетону та залізобетону кінця 1950-х рр.) робилися спроби відновити перенапружені класичні кроквяні чи балочні системи перекриття за допомогою двокомпонентних епоксидних смол з низькою в'язкістю. В подальшому місцеве зміцнення за допомогою ін'єкційного адгезиву в ділянки тріщин набрало хоч і невеликого, але розповсюдження з використанням інших композитів, наприклад «Силор» [19]. Проте густий клей для заповнення тріщин, який для збільшення густини має наповнювачі, важко проникає у невеликі пустоти, що є всередині дерев'яного елемента, тоді як дуже рідкі клеї чи композити проникнуть легше. Тому краще поєднувати зміцнення вражених ділянок спочатку рідкими полімерними композитами, а згодом і густими.

Для збільшення ефективності локального підсилення пошкодженої ділянки найбільш напружених розтягнутих зон згинальних елементів, дієвим є спосіб підсилення за рахунок зміцнення її за допомогою приклеювання відрізка металевої чи полімерної стрічки у зонах з достатньою довжиною клейового щеплення з обох боків від місця пошкодження (рис. 3). Довжина клейового щеплення (анкетування) з кожного із боків від пошкодження чи вади має дорівнювати не менше десяти розмірів ширини стрічки.



Рис.3. Кріплення (анкетування) країв композитної стрічки на дерев'яній балці

Підсилення стиснутої зони (локальне чи глобальне) згинальних елементів з цільної чи клеєної деревини доцільно проводити за рахунок вклеювання в попередньо зроблені пази сталеву арматуру. Сталева арматура має більший модуль пружності в порівнянні з полімерною скловолонистою, базальтовою чи вуглецевою і тому створює в стиснутій зоні жорсткий диск і тим самим зменшує деформування цієї зони балки. Але необхідно зауважити і те, що критичні деформації при повздовжньому осьовому стиску деревини хвойних порід досягають великих значень $u_{c,fin,d} = (30 - 40) \cdot 10^{-4}$, тому для створення успішної сумісної роботи деревини з сталеву арматурою необхідно вибирати арматурну сталь високих класів, в яких площадка текучості знаходиться близьких межах до меж критичних деформацій деревини за повздовжнього стиску. Склад клейового розчину виготовляють з епоксидних клеїв з

заповнювачами з піску чи цементу, який має хороше зчеплення із сталлю, полімером та деревиною.

Глобальне підсилення експлуатованих згинальних елементів за рахунок пасивного одностороннього армування в результаті поверхневого кріплення полімерних стрічок FRP в розтягнутій зоні чи за рахунок вставлення арматурних сталевих чи полімерних стержнів вставлених в пази в цій же зоні проводиться для досягнення відмов у роботі елемента внаслідок пластичного руйнування стиснутої зони і може збільшити несучу здатність лише до 20%, але при цьому запобігає прогресуючому руйнуванню [20].

Найкращий ефект за глобального підсилення балкових конструкцій дає подвійне армування чи сталевими арматурними стержнями високих класів (рис. 2а) чи армуванням розтягнутої зони полімерними стрічками одночасно з влаштуванням сталевих арматур в стиснуту зону (рис. 2б). Необхідно констатувати, що по довжині армування дерев'яних балок можливо лише на вільній ділянці (від краю однієї опори до краю іншої). Для запобігання ж відриву краю полімерної стрічки необхідно проводити закріплення (анкетування) її до дерев'яної балки, застосовуючи відрізки цієї ж стрічки (рис.3.) Кріплення здійснюємо за рахунок приклеювання поперек балки на всю її ширину п'ятьма відрізками.

Часто глобальне підсилення стиснутої та розтягнутої зон балок з деревини приводить до недостатньої несучої здатності зсуву. Тому, при комплексному підході до підсилення дерев'яних балок в цілому, необхідно виконувати також підсилення сприйняття елементом на краях збільшених зсувних зусиль. Ефективним у збільшенні сприйняття зсувних зусиль дерев'яної балки є її підсилення за допомогою похилого, з кутом 45^0 , приклеювання композитної однієї або декількох стрічок. Кріплення проводять за допомогою полімерних клеїв з певним кроком з обох сторін балки в місцях близьких до обпирання на опори (рис.4).



Рис.4. Зовнішнє підсилення похилих перерізів дерев'яної балки композитною стрічкою

Питання підсилення дерев'яних конструкцій, що експлуатуються, досить складне і потребує в кожному випадку індивідуального підходу. Комплексні розробки способів підсилення згинальних елементів з деревини на даному етапі ускладнені тим, що немає в Україні нормативної бази для вирішення цього питання. Так як загальних напрацювань по підсиленню на даний час немає, тому кожен інженер розробляє свої методи зміцнення згинальних елементів з деревини самостійно.

Висновки. Встановлено, що часто згинальні конструкції з деревини, що експлуатуються, потребують комплексного підсилення як локального, так і глобального. Проведено аналіз способів та методів локального та глобального підсилення конструкцій з деревини, що працюють на поперечний згин в умовах їх експлуатації. Загальних напрацювань по підсиленню згинальних елементів з деревини на даний час немає.

Література

1. André A., Kliger R. Strengthening of timber beams using FRP, with emphasis on compression strength: A state of the art review. *Apfis* 2009.
2. Borri A., Corradi M., Grazini A. A method flexural reinforcement of old wood beam with CFRP materials. *Compos. B Eng*, 2005. Vol. 36. Pp. 143-153.
3. Jasieńko J., Nowak T.P. Strengthening of bent timber beams in historical objects. From Material to Structure – Mechanical Behaviour and Failures of the Timber Structures. ICOMOS IWC – XVI Internathional Symposium – Fljrence, Venice and Vecenza 11 – 15 november 2007.
4. Righetti L., Corradi M., Borri A.. Basalt FRP spike repairing of wood beams. *Fibers*, 2015. Vol. 3. Pp. 323-337.
5. Окунь І.В. Міцність та деформативність клеєдощатих балкових конструкцій з пошаровим армуванням : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Одеса, 2014. 22с.
6. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2015. 185 с.
7. Kliger R., Haghani R., Brunner M., Harte A. M., Schober K-U. Wood-based beams strengthened with FRP laminates: improved performance with pre-stressed systems. *Eur. J. Wood Prod*, 2016. Vol. 74. Pp. 319–330.
8. Nadir Y., Nagarajan P., Ameen M., Arif M., Flexural stiffness and strength enhancement of horizontaly glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets. *Construction and Building Materials*, 2016. Vol. 112. Pp. 547-555.
9. Михайловський Д. В. Комар М. А. Аналіз досліджень застосування композитних стрічок для підсилення дерев'яних конструкцій. Будівельні конструкції. Теорія і практика. Київ: КНУБА, 2022. №10. С. 4-10.
10. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124p.
11. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. К.: Мінрегіон України, 2017. 111 с.
12. Gilfillan J.R., Gilbert S.G., Patrick G.R.H. The use of FRP composites in enhancing the structural behaviour of timber beams. *J. Reinf. Plast. Compos.*, 2003. Vol. 22 (15). Pp. 1373–1388.
13. Hirasawa H., Oikawa A., Kobayashi A. Loading tests of glulam beams reinforced by CFRP sheets and plates. Japan. 2006.
14. Gugtsidze G., Drašković F. Reinforcement of timber beams with carbon fibers reinforced plastics. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2010. №2. P. 1-6.
15. Śliwa-Wieczorek, K., Ostrowski, K. A., Jaskowska-Lemańska, J., Karolak, A. The influence of CFRP sheets on the load-bearing capacity of the glued laminated timber beams under bending Test. *Materials*, 2021. Vol. 14(14). Article number 4019.
16. Raftery G.M. , Kelly F. Basalt FRP rods for reinforcement and repair of timber. *Compos B Eng*, 2015. Vol. 70. Pp. 9-19.
17. Saad K., Lengyel A. Strengthening timber structural members with CFRP and GFRP: A State-of-the-Art Review. *Polymers* 2022, 14, 2381. <https://doi.org/10.3390/polym14122381>.
18. Була С.С., Богдан С.М. Підсилення дерев'яних балок матеріалами ТМ «МАРЕІ». Тези доповідей міжнародної наукової конференції «Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини», 9-10 червня 2023. ОДАБА:Одеса. С.13-14.
19. Гомон С. С., Гомон С. С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. Вісті Донецького гірничого інституту. Вип.1. 2017. С.134 -138.
20. Гомон С.С. Передумови до запобігання прогресуючому руйнуванню конструкцій з деревини при дії різних видів навантажень. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. НУВГП, 2014. Випуск 29. С. 108-116.
21. Гомон С. С., Поліщук М.В. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технології і конструкції в

будівництві та архітектура села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат». Тези доповідей. Дубляни, 2019. – с. 99-100.

22. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S. Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. *Buildings* 2020, 10(5), 92. doi:10.3390/buildings10050092.

References

- [1] André A., Kliger R. Strengthening of timber beams using FRP, with emphasis on compression strength: A state of the art review. *Apfis* 2009.
- [2] Borri A., Corradi M., Grazini A. A method flexural reinforcement of old wood beam with CFRP materials. *Compos. B Eng*, 2005. Vol. 36. Pp. 143-153.
- [3] Jasieńko J., Nowak T.P. Strengthening of bent timber beams in historical objects. From Material to Structure – Mechanical Behaviour and Failures of the Timber Structures. ICOMOS IWC – XVI Internathional Symposium – Fljrence, Venice and Vecenza 11 – 15 november 2007.
- [4] Righetti L., Corradi M., Borri A.. Basalt FRP spike repairing of wood beams. *Fibers*, 2015. Vol. 3. Pp. 323-337.
- [5] Okun' I.V. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleyedoshchatykh balkovykh konstruktsiy z posharovym armuvannyam : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01. Odesa, 2014. 22s.
- [6] 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.
- [7] Kliger R., Haghani R., Brunner M., Harte A. M., Schober K-U. Wood-based beams strengthened with FRP laminates: improved performance with pre-stressed systems. *Eur. J. Wood Prod*, 2016. Vol. 74. Pp. 319–330.
- [8] Nadir Y., Nagarajan P., Ameen M., Arif M., Flexural stiffness and strength enhancement of horizontaly glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets. *Construction and Building Materials*, 2016. Vol. 112. Pp. 547-555.
- [9] Mykhaylovs'kyi D. V. Komar M. A. Analiz doslidzen' zastosuvannya kompozytnykh strichok dlya pidsylennya derev"yanykh konstruktsiy. *Budivel'ni konstruktsiyi. Teoriya i praktyka*. Kyiv: KNUBA, 2022. №10. S. 4-10.
- [10] Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124p.
- [11] DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Derev'yani konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. K.: Minrehion Ukrayiny, 2017. 111 s.
- [12] Gilfillan J.R., Gilbert S.G., Patrick G.R.H. The use of FRP composites in enhancing the structural behaviour of timber beams. *J. Reinf. Plast. Compos.*, 2003. Vol. 22 (15). Pp. 1373–1388.
- [13] Hirasawa H., Oikawa A., Kobayashi A. Loading tests of glulam beams reinforced by CFRP sheets and plates. Japan. 2006.
- [14] Gugutsidze G., Drašković F. Reinforcement of timber beams with carbon fibers reinforced plastics. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2010. №2. P. 1-6.
- [15] Śliwa-Wieczorek, K., Ostrowski, K. A., Jaskowska-Lemańska, J., Karolak, A. The influence of CFRP sheets on the load-bearing capacity of the glued laminated timber beams under bending Test. *Materials*, 2021. Vol. 14(14). Article number 4019.
- [16] Raftery G.M., Kelly F. Basalt FRP rods for reinforcement and repair of timber. *Compos B Eng*, 2015. Vol. 70. Pp. 9-19.
- [17] Saad K., Lengyel A. Strengthening timber structural members with CFRP and GFRP: A State-of-the-Art Review. *Polymers* 2022, 14, 2381. <https://doi.org/10.3390/polym14122381>.
- [18] Bula S.S., Bohdan S.M. Pidsylennya derev"yanykh balok materialamy TM «MAPEI». Tezy dopovidey mizhnarodnoyi naukovoï konferentsiyi «Suchasni budivel'ni konstruktsiyi z metalu ta derevyny», 9-10 chervnya 2023. ODABA:Odesa. S.13-14.

- [19] Gomon S. S., Homon S. S., Zinchuk A.V. Doslidzhennya modyfikovanoyi sylorom kleyenoyi derevyny na stysk vzdovzh volokon. Visti Donets'koho hirnychoho instytutu. Vyp.1. 2017. S.134-138.
- [20] Gomon S.S. Peredumovy do zapobihannya prohresuyuchomu ruynuvannyu konstruktsiy z derevyny pry diyi riznykh vydiv navantazhen'. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne. NUVHP, 2014. Vypusk 29. S. 108-116.
- [21] Gomon S. S., Polishchuk M.V. Vlashtuvannya kombinovanoho armuvannya balok iz kleyenoyi derevyny. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Efektyvni tekhnolohiyi i konstruktsiyi v budivnytstvi ta arkhitektura sela. Rozrobka innovatsiynykh modeley ekoposelen' Prykarpattia ta Karpat». Tezy dopovidey. Dublyany, 2019. – s. 99-100.
- [22] Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S. Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. Buildings 2020, 10(5), 92. doi:10.3390/buildings10050092.

LOCAD AND GLOBAL STRENGTHENING OF WOOD BEAMS DURING OPERATION

Gomon S., doctor of technical sciences, professor,
s.s.homon@nuwm.edu.ua: ORCID: 0000-0003-2080-5650

Homon S., doctor of technical sciences, professor,
s.s.gomon@nuwm.edu.ua: ORCID: 0000-0001-9818-1804

Puhash Y., post-graduate student,
y.v.puhach@nuwm.edu.ua: ORCID: 0009-0002-2496-1159
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

Annotation: The work presents modern comprehensive methods for the rehabilitation and reinforcement of glued wooden beams or timbers that can be utilized during their service in buildings. The local or global reinforcement of wooden elements made of solid or glued wood, which are subjected to transverse bending, needs to be performed either with full or partial unloading of the structure.

The reinforcement effect is greater with complete unloading of the structure compared to partial unloading. Local reinforcement of the structure, through altering the physical and mechanical properties of the material in problematic areas, often involves the injection of cracks with adhesives followed by the application of the chosen reinforcement system.

Global reinforcement of wooden bending elements includes reinforcing both the compressed and tension zones of the element, as reinforcing only the tension zone provides minimal effect. The best effect in global reinforcement of beam structures is achieved through double reinforcement, either with high-grade steel reinforcement bars or by reinforcing the tension zone with polymer tapes while simultaneously installing steel reinforcement in the compressed zone.

Often, global reinforcement of both the compressed and tension zones of wooden beams results in insufficient shear bearing capacity. Therefore, a comprehensive approach to reinforcing wooden beams as a whole necessitates reinforcing the element's ability to handle increased shear forces at the edges. An effective method for increasing the shear force capacity of a wooden beam is reinforcing it by bonding one or more composite strips at a 45-degree angle. The bonding is performed using polymer adhesives at specific intervals on both sides of the beam in areas close to the supports.

The issue of reinforcing wooden structures in service is quite complex and requires an individual approach in each case.

The comprehensive development of methods for reinforcing wooden bending elements is currently hampered by the lack of regulatory framework in Ukraine to address this issue. At the time, there was no general work on reinforcement. Each engineer developed his own methods for reinforcing timber bending members.

Keywords: glued wood, solid wood, beam, bearing capacity, reinforced wood.