

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.63.327-335>

УДК 624.011

Гомон Петро Святославович,

к.т.н., доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

p.s.homon@nuwm.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-5312-0351>

СУМІСНІСТЬ РОБОТИ АРМАТУРИ ТА ДЕРЕВИНИ В БАЛКАХ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ЗА ПОПЕРЕЧНОГО ЗГИНУ

Анотація: Обґрунтовано доцільність армування сталлю та композитною полімерною арматурою елементів з цільної чи клеєної деревини. Показано достатньо високу сумісність роботи деревини в стиснутій та розтягнутій зонах згинального елемента сталеві арматурної сталі класів А400С, А500С та композитної склопластикової арматури, композитної базальтової арматури та композитної вуглецевої стрічки. Армування елементів цільних та клеєних перерізів дерев'яних конструкцій сталлю або композитною пластиковою арматурою чи стрічкою дозволяє суттєво скорочувати витрати деревини, зменшувати висоту та монтажну масу, підвищувати якість та надійність.

Ключові слова: деревина; дерев'яний елемент; армування; сумісність роботи; деформації.

Постановка проблеми. Одним із шляхів усунення негативних недоліків деревини (залежність її властивостей від будови, пороків, необхідність застосування та значна витрата якісного пиломатеріалу, зайва масивність перерізів, повзучість при тривалому навантаженні та ін.) і підвищення техніко-економічної ефективності є армування перерізів цільних та клеєних дерев'яних конструкцій сталлю або композитною пластиковою арматурою. Це дозволяє суттєво скорочувати витрати деревини, зменшувати монтажну масу, підвищувати якість та надійність дерев'яних конструкцій, що працюють в основному на згин.

Будівельні конструкції з деревини було запропоновано армувати А. Фішером в 1926 році в Німеччині. Перші армовані конструкції початку 20-го століття були не досить вдалимими, це було пов'язано з використанням при

армуванням податливих з'єднань таких, як цвяхи, нагелі, зубчаті з'єднання. Але вже у 50-х роках 20-го століття з розвитком хімічної промисловості було розроблено випуск ефективних композитних та синтетичних клеїв, які могли забезпечити міцне та довговічне з'єднання арматури з деревиною. Для армування необхідно обирати арматуру з урахуванням повного використання її властивостей залежно від властивостей деревини.

Розвиток армованих дерев'яних конструкцій йде у двох напрямках: з використанням пасивної (не напруженої) та попередньо напруженої арматури. Армовані дерев'яні конструкції з пасивним чи попередньо напруженим армуванням є комплексними конструкціями.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Для того, щоб дану проблему розглянути комплексно необхідно мати механічні властивості деревини сосни та арматури (металевої та неметалевої), переважно деформативні характеристики. Особливо такі параметри повинні стосуватися критичних показників [1-8], тобто показників, які відповідають максимальним напруженням досліджуваних матеріалів.

Досить глибокі експериментально-теоретичні дослідження знаходимо в роботі [2].

Ми провели також деякі дослідження з даної проблематики [9-16].

Постановка завдання. Встановлення сумісності роботи деревини з сталевую та композитною пластиковою арматурою в балках, які працюють за поперечного згину.

Викладення основного матеріалу. Для співставлення сумісної роботи деревини і арматури в елементах з армованої деревини при згині встановимо їх параметри в області міцності та деформування. В Україні основною деревиною, що використовується в капітальному будівництві є сосна. Отже, для цієї породи граничні деформації волокон деревини при механічних випробуваннях на осьовий розтяг за стандартної вологості за даними Свеницького Г.В [1] є в межах від $u_{t,fin,d} = 10 \cdot 10^{-4}$ до $u_{t,fin,d} = 30 \cdot 10^{-4}$, а за даними Сурмая М. І. [2] в межах $u_{t,fin,d,u} = (34-56) \cdot 10^{-4}$, тобто від $u_{t,fin,d} = 10 \cdot 10^{-4}$ до $u_{t,fin,d} = 56 \cdot 10^{-4}$. Практично всі дослідники починаючи з Свеницького Г.В [1] та Знаменского Е.М. спостерігали пружне деформування деревини за осьового розтягу практично на 95% довжини діаграми деформування.

Якщо граничні деформації деревини за осьового розтягу $u_{t,fin,d,u}$ близькі за значеннями до критичних, то критичні значення відносних деформацій деревини стиску вздовж волокон $u_{c,fin,d}$ різняться за своїми значеннями від граничних $u_{c,fin,d,u}$. Отже, критичні значення відносних деформацій деревини стиску вздовж волокон $u_{c,fin,d}$ встановлюються за досягнення матеріалом напружень рівних міцності матеріалу $f_{c,0,d}$ (рис.1).

Різні автори в своїх роботах вказують різні значення критичних та граничних значень відносних деформацій деревини сосни вздовж волокон за стандартної вологості. Наприклад, за результатами експериментальних досліджень Болденкова Р.П. [5], Губенка А.Б. [6], та Дериглазова О.Ю. [2] критичну деформативність деревини сосни за стиску вздовж волокон встановили на рівні $u_{c,fin,d} = (52 - 56) \cdot 10^{-4}$. В роботі [7] наведені результати проведених експериментальних випробувань на стандартних зразках і встановлена критична деформативність деревини сосни стиску вздовж волокон лише $u_{c,fin,d} = (23 - 24) \cdot 10^{-4}$. Шеховцов А.С. [8] для конструктивної деревини критичну деформативність деревини сосни за стиску вздовж волокон прийняв $u_{c,fin,d} = 33,2 \cdot 10^{-4}$.

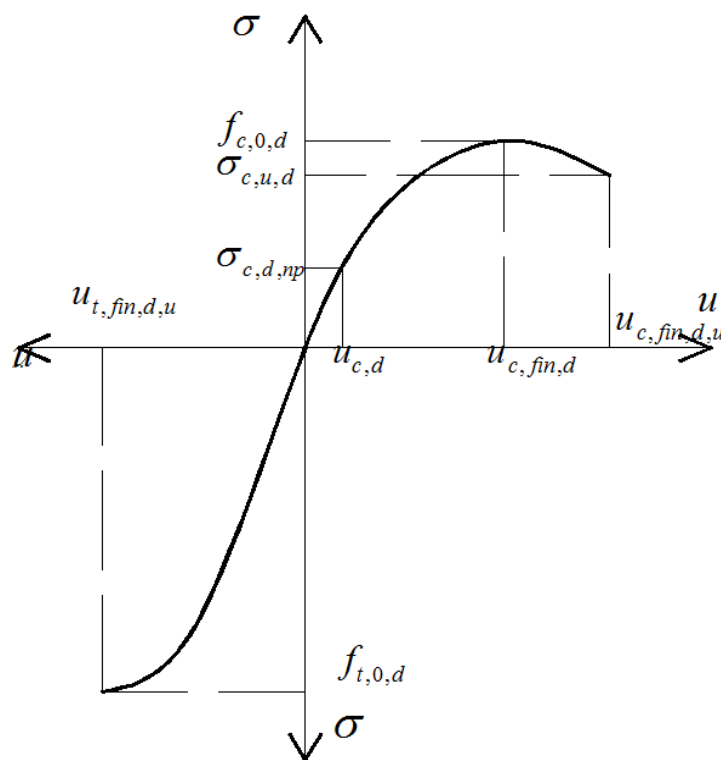


Рис.1. Оптимізовані діаграми деформування деревини “напруження – деформації” ($\sigma - u$) за стиску та розтягу: $\sigma_{c,d}$ = нормальні напруження стиску; u_c = відносні деформації стиску; $f_{c,0,d}$ = розрахункове значення міцності при стиску вздовж волокон; $f_{t,0,d}$ = розрахункове значення міцності при розтягу вздовж волокон; $\sigma_{t,d}$ = нормальні напруження розтягу; $u_{c,d,np}$ = відносні деформації деревини в межах межі пропорційності; $u_{c,fin,d}$ = критичні відносні деформації деревини за стиску вздовж волокон; $\sigma_{c,d,np}$ = напруження стиску в межах межі пропорційності; $u_{t,fin,d,u}$ = граничні повздовжні деформації розтягу; $u_{c,fin,d,u}$ = граничні повздовжні відносні деформації стиску

В роботі [9] значення критичної деформативності деревини сосни було встановлено за вологості $w=10\%$ і вона коливалася від $u_{c,fin,d} = 35,1 \cdot 10^{-4}$ до $u_{c,fin,d} = 41,8 \cdot 10^{-4}$. Для сталюї арматури класу А400С та А500С межа текучості знаходиться на рівні $(20-30) \cdot 10^{-4}$ (рис. 2).

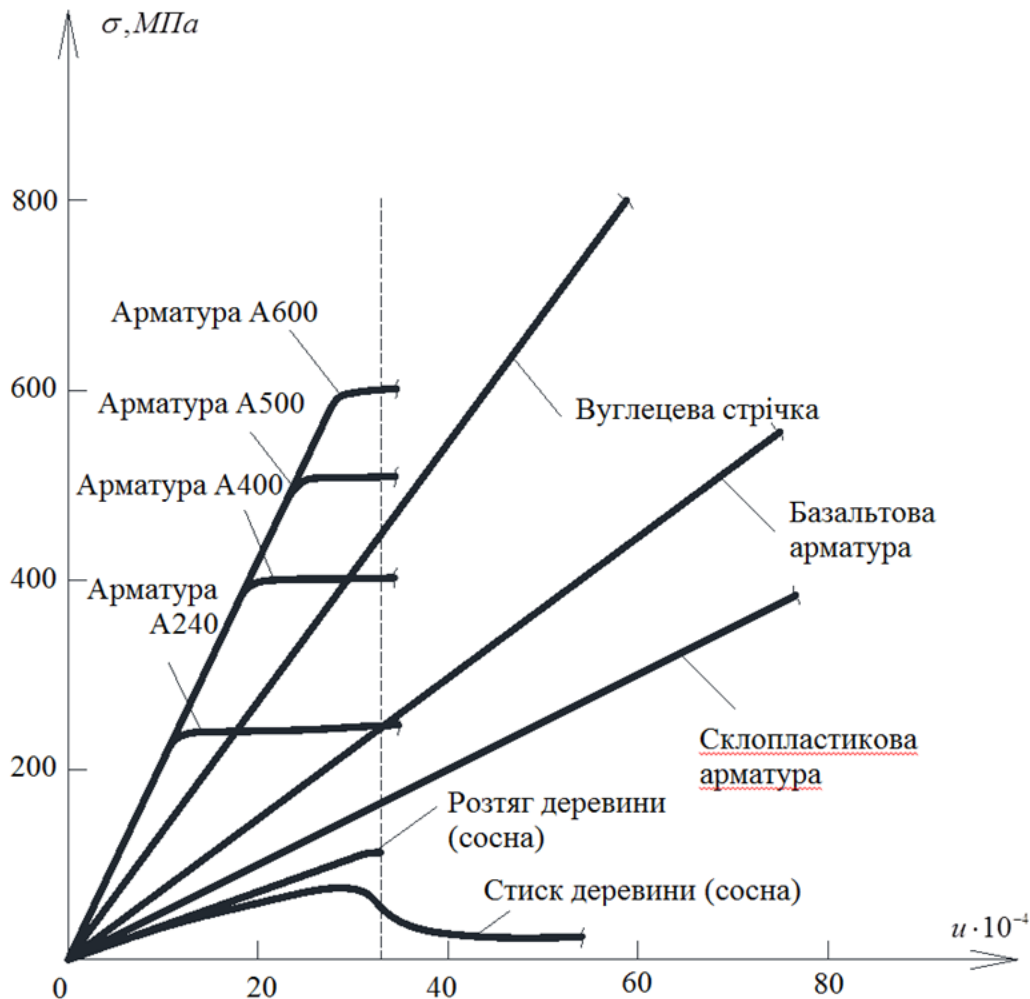


Рис. 2. Суміщені оптимізовані діаграми деформування різних матеріалів, що використовуються в армованій дерев'яній балці

Загальні деформації до руйнування для цього класу сталюї арматури є в межах 6... 16%. Приходимо до висновку, що у всіх випадках при спільній роботі сталюї арматури з деревиною міцність арматури буде використана, тобто напруження в арматурі досягнуть межі текучості раніше, чим буде вичерпано міцність деревини стиску чи розтягу.

Водночас арматура запобігає обвалу конструкції внаслідок того, що навіть за утворення складки в стиснутій зоні чи за руйнування найбільш напружених волокон розтягнутої зони арматура частково зберігає несучу здатність, хоч і працюватиме за межею текучості.

Експериментальні дослідження роботи деревини сумісно з сталлюю арматурою повністю підтверджують висновок хорошої сумісної її роботи. В цілому, для армування дерев'яних конструкцій, як видно з рис. 2, раціонально використовувати арматурні сталі, міцнісні та пружні властивості яких найбільш повно відповідають властивостям деревини - це арматура класів А400С, А500С.

На базі отриманих результатів експериментальних досліджень різних авторів на рис. 2 представлено оптимізовані діаграми деформування деревини за розтягу і стиску, арматурної сталі А240, А400, А500, А600, композитної склопластикової арматури, композитної базальтової арматури та композитної вуглецевої стрічки.

Доцільним є армуванням стиснутої зони дерев'яних згинальних елементів сталлюю арматурою з високим модулем пружності, що дає можливість суттєво збільшувати жорсткість її та запобігати утворення складки [9-12].

Сумісна робота деревини з композитами з основою із склопластикових, базальтових та вуглецевих волокон за достатнього анкетування кінців також достатньо ефективна при використанні її в розтягнутій зоні в роботі армованих дерев'яних конструкцій на всіх стадіях напружено-деформованого стану нормальних перерізів [8].

Висновки. 1. Аналіз сучасного стану досліджень армованих дерев'яних конструкцій вказує на необхідність ґрунтового вивчення роботи згинальних балочних дерев'яних елементів з комбінованим армуванням сталлюю і композитною арматурою та з комбінованим попередньо напруженим армуванням.

2. На сьогоднішній день недостатньо висвітлене питання дослідження напружено-деформованого стану армованої деревини в “розрахунковому поперечному перерізі” як самої конструкції, так і роботи матеріалу у її складі.

3. Використання армованої деревини в конструкціях нормами більшості країн не нормується, а отже відсутня загальна теорія розрахунку конструкцій з армованої деревини, що базувалася б на обґрунтованих чітких гіпотезах та передумовах і була б побудована на основних принципах механіки твердого тіла.

Список джерел

1. Свеницкий Г.В. О пределе пластического течения при поперечном изгибе и при сжатии с изгибом. *Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций*. 1952. С. 69 – 74.

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.

3. Знаменский Е.М. Совершенствование нормирования расчетных характеристик элементов деревянных конструкций. Разработка и совершенствование деревянных конструкций. *Сборник научных трудов, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко*. 1989. С. 36–47.

4. Болденков Р.П. Обоснование метода пересчета показателей механических свойств древесины к стандартной температуре: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. 1960.

5. Губенко А.Б. Устойчивость центрально сжатых цельных деревянных конструкций. *Исследование прочности и устойчивости деревянных стержней: Сб. ЦНИПС*. Стройиздат, 1940. С. 3-13.

6. Копаница Д.Г., Лоскутова Д.В., Савченко В.И., Пляскин А.С. Определение коэффициента постели для расчета узлового соединения элементов из древесины на МЗП. *Вестник ТГАСУ*. Томск, 2011. №2. С. 79-88.

7. Шеховцов А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния сжато-изогнутых несущих стержневых элементов деревянных сетчатых куполов и совершенствование их узловых соединений: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Санкт-Петербург, 2008. 23с.

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

9. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Вип. 21. Рівне, НУВГП, 2011. С. 176-180.

10. 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: <https://doi.org/10.3390/buildings10050092>.

11. Gomon S., Gomon P., Homon S., Polishchuk M., Dovbenko T., Kulakovskiy L. Improving the strength of bending elements of glued wood. *Procedia Structural Integrity*, 2022. Volume 36. Pp. 217-222.

12. Гомон П.С. Аналіз використання металевої та неметалевої арматури для підсилення дерев'яних елементів та конструкцій. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ: КНУБА, 2022. Випуск 62. С. 322-332. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.62.322-332>

13. Гомон П.С. Напружено-деформований стан балок із деревини з комбінованим армуванням на різних рівнях навантажень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2022. Випуск 17. С. 23-30. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7\(17\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-7(17)-03)

14. Гомон П.С. Інноваційний спосіб попереднього напруження комбіновано армованих дерев'яних балок. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2022. №79. С. 77-86. DOI: 10.32347/2076-815x.2022.79.77- 86.

15. Гомон П.С., Савицький В.В., Поліщук М.В. Розрахунок напружено-деформованого стану підсилених дерев'яних балок прямокутного перерізу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 39. С. 221-229.

16. Гомон П.С. Апроксимація діаграми «момент-кривина» дерев'яних армованих та неармованих балок прямокутного перерізу. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2021. №78. С. 157-165.

DOI: 10.32347/2076-815x.2021.78.157- 165

References

1. Svenitskiy G.V. (1952). On the limit of plastic flow in transverse bending and in compression with bending. [O predele plasticheskogo techeniya pri poperechnom izgibe i pri szhatii s izgibom]. *Voprosy prochnosti i izgotovleniya derevyannykh konstruktsiy*. S. 69 – 74. (in Russian).

2. Surmay M.I. (2015). Strength and deformability of board-glued beams reinforced with fiberglass and basalt reinforcement. [Mitsnist' ta deformatyvnist' doshatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu]: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv. 185 s. (in Ukrainian).

3. Znamenskiy Ye.M. (1989). Improving the rationing of the design characteristics of elements of wooden structures. Development and improvement of wooden structures. [Sovershenstvovaniye normirovaniya raschetnykh kharakteristik elementov derevyannykh konstruktsiy. Razrabotka i sovershenstvovaniye derevyannykh konstruktsiy]. *Sbornik nauchnykh trudov, TSNIISK im. V.A. Kuchepenko*. S. 36–47. (in Russian).

4. Boldenkov R.P. (1960). Justification of the method for recalculating the indicators of the mechanical properties of wood to a standard temperature. [Obosnovaniye metoda perescheta pokazateley mekhanicheskikh svoystv drevesiny k standartnoy temperature]: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. (in Russian).

5. Gubenko A.B. (1940). Stability of centrally compressed solid timber structures. [Ustoychivost' tsentral'no szhatykh tsel'nykh derevyannykh konstruktsiy]. *Issledovaniye prochnosti i ustoychivosti derevyannykh sterzhney: Sb. TSNIPS. Stroyizdat*. S. 3-13. (in Russian).

6. Kopanitsa D.G., Loskutova D.V., Savchenko V.I., Plyaskin A.S. (2011). Determination of the bed coefficient for calculating the nodal connection of wood elements at the MZP. [Opredeleniye koeffitsiyenta posteli dlya rascheta uzlovogo soyedineniya elementov iz drevesiny na MZP]. *Vesnik TGASU. Tomsk. №2*. S. 79-88. (in Russian).

7. Shekhovtsov A.S. (2008). Study of the stress-strain state of compressed-curved load-bearing rod elements of wooden mesh domes and improvement of their nodal connections. [Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya szhatykh izognutykh nesushchikh sterzhnevnykh elementov derevyannykh setchatykh kupolov i sovershenstvovaniye ikh uzlovykh soyedineniy]: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Sankt-Peterburg, 2008. 23s. (in Russian).

8. Gomon S. S. (2019). Stress-strain state and calculation according to the deformation method of wood elements at one-time and repeated loads. [Napruzhenodeformovanyy stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh]: monohrafiya. Rivne: Volyns'ki oberehy. 288 s. (in Ukrainian).

9. Gomon S.S. (2011). Stages of stress-strain state of normal sections of wood work on bending. [Stadiyi napruzhenodeformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z'hyn]. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Vyp. 21. Rivne, NUVHP. S. 176-180. (in Ukrainian).

10. 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. (in English).

11. Gomon S., Gomon P., Homon S., Polishchuk M., Dovbenko T., Kulakovskiy L. Improving the strength of bending elements of glued wood. *Procedia Structural Integrity*, 2022. Volume 36. Pp. 211-216. (in English).

12. Gomon P.S. (2022). Analysis of the use of metal and non-metal reinforcement to reinforce wooden elements and structures. [Analiz vykorystannya metalevoyi ta nemetalevoyi armatury dlya pidsylennya derev'yanykh elementiv ta konstruktsiy]. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Kyiv: KNUBA. Vypusk 62. S. 322-332. (in Ukrainian).

13. Gomon P.S. (2022). Stress-strain state of wood beams with combined reinforcement at different load levels. [Napruzhenodeformovanyy stan balok iz derevyny z kombinovanyym armuvannyam na riznykh rivnyakh zavantazhen']. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU. Vypusk 17. S. 23-30. (in Ukrainian).

14. Gomon P.S. (2022). An innovative method of prestressing combined reinforced wooden beams. [Innovatsiynyy sposib poperedn'oho napruzheniya kombinovano armovanykh derev'yanykh balok]. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA. №79. S. 77-86. (in Ukrainian).

15. Gomon P.S., Savyts'kyi V.V., Polishchuk M.V. (2021). Calculation of the stress-strain state of reinforced wooden beams of rectangular cross section. [Rozrakhunok napruzhenodeformovanoho stanu pidsylenykh derev'yanykh balok

pryamokutnoho pererizu]. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP. Vyp. 39. S. 221-229. (in Ukrainian).

16. Gomon P.C. (2021). Approximation of the moment-curvature diagram of wooden reinforced and non-reinforced beams of rectangular cross-section. [Aproksymatsiya diahramy «moment-kryvyna» derev"yanykh armovanykh ta nearmovanykh balok pryamokutnoho pererizu]. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA. №78. S. 157-165. (in Ukrainian).

Annotation

Gomon Petro, candidate of technical sciences, associate professor, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

Compatibility of reinforcement and wood in beams working on transverse bending

One of the ways to eliminate the negative shortcomings of wood (dependence of its properties on the structure, defects, the need for use and significant consumption of quality lumber, excessive mass of sections, creep under prolonged load, etc.) and increase technical and economic efficiency is reinforcement of solid and glued trees. steel or composite plastic fittings. This allows you to significantly reduce wood costs, reduce installation weight, improve the quality and reliability of wooden structures that work mainly on the bend.

The expediency of reinforcing elements of solid or glued wood with steel and composite polymer reinforcement is substantiated. The rather high compatibility of wood work in the compressed and stretched zones of the bending element of steel reinforcing steel of classes A400C, A500C and composite fiberglass reinforcement, composite basalt reinforcement and composite carbon tape is shown. Reinforcement of solid and glued cross-sectional elements of wooden structures with steel or composite plastic reinforcement or tape can significantly reduce wood costs, reduce height and installation weight, improve quality and reliability.

Analysis of the current state of research of reinforced wooden structures indicates the need for a thorough study of the bending of wooden beam elements with combined reinforcement of steel and composite reinforcement and with combined pre-stressed reinforcement. To date, the issue of studying the stress-strain state of reinforced wood in the "calculated cross section" of both the structure and the work of the material in its composition is insufficiently covered. The use of reinforced wood in structures is not regulated by most countries, so there is no general theory of calculation of reinforced wood structures, which would be based on sound clear hypotheses and assumptions and would be based on the basic principles of solid mechanics.

Keywords: wood; wooden element; reinforcement; compatibility; deformation.