

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯDOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.62.322-332>

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>**АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛЕВОЇ ТА НЕМЕТАЛЕВОЇ
АРМАТУРИ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА
КОНСТРУКЦІЙ**

Анотація: проаналізовано вітчизняний та закордонний досвід використання металевої та неметалевої арматури для підсилення несучих дерев'яних елементів та конструкцій в промисловому та цивільному будівництві, а також в інженерних спорудах. Охарактеризовано основні види металевої і неметалевої арматури та їх механічні характеристики. Наведено основні переваги та недоліки таких видів армування. В подальшому будуть проведені експериментальні дослідження з використанням комбінованого армування для підсилення дерев'яних елементів та конструкцій.

Ключові слова: сталева арматура; композитна арматура; дерев'яний елемент; армування; несуча здатність; жорсткість.

Постановка проблеми. Дерев'яні елементи та конструкції в процесі експлуатації зазнають різних впливів. Такі несучі елементи та конструкції використовуються для будівництва та реконструкції промислових та цивільних об'єктів, інженерних споруд тощо. Вони можуть працювати за різних способів прикладення навантаження: згину, стиску, розтягу та інших [1-6]. Деякі дерев'яні елементи та конструкції заздалегідь необхідно проектувати з підвищеними показниками несучої здатності та жорсткості. Інші - необхідно посилювати в процесі експлуатації. Тому вчені шукають методи та способи для поліпшення таких характеристик. Одним із таких способів може слугувати застосування металевої та неметалевої арматури в розтягнутій та стиснутій зонах дерев'яного елемента для збільшення жорсткості та їх несучої здатності.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Експериментальними та

теоретичними дослідженнями застосування сталевий арматури для поліпшення несучої здатності та жорсткості елементів та конструкцій з деревини знаходимо в роботах [7-10]. Такими ж дослідженнями тільки при використанні неметалевої арматури займалися вітчизняні та закордонні вчені [11-15]. Комбінованим армуванням знаходимо в наших працях [16].

Отже, необхідно проаналізувати металеву та неметалеву арматуру, яка дає змогу поліпшувати роботу таких елементів та конструкцій при розрахунку за I та II групою граничних станів.

Постановка завдання. Провести детальний аналіз металевий та неметалевої арматури (механічних характеристик) для підсилення елементів та конструкцій з деревини.

Викладення основного матеріалу. Проведемо детальний аналіз механічних характеристик металевий та неметалевої арматури для підсилення дерев'яних елементів та конструкцій.

Сталева арматура. Для поздовжнього армування балок з клеєної та цільної деревини використовують арматуру класу А400 та А500 діаметрами 10 ... 32 мм. Її механічні характеристики визначаються за стандартними методиками.

Модуль пружності за формулою

$$E_s = \frac{(N_{0,35} - N_{0,10})l_0}{F_0 \Delta l}, \quad (1)$$

де $N_{0,35}$ і $N_{0,10}$ – зусилля в стержні відповідно на рівні $N_{0,35} = 0,35 N_u$, $N_{0,10} = 0,10 N_u$; N_u - руйнівне зусилля;

$\Delta l = \Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,10}$ - подовження зразка в інтервалі зусилля від $N_{0,10}$ до $N_{0,35}$;

$l_0 = 200$ мм – база вимірювання подовження;

F_0 - площа поперечного перерізу стержнів.

Механічні характеристики (міцність та деформативність) арматури за одноразового розтягу можливо визначалити шляхом випробовувань дослідних стержнів, виокремлених із різних стержнів однієї партії арматури, на сучасних дослідних установках.

На даний час проєктанти для армування елементів з клеєної деревини використовують сталеву, як правило рифлену арматуру, таких класів, яка має площадку текучості (рис. 1). Така арматура в порівнянні з гладкою арматурою має розвинену поверхню (площу) зчеплення з деревиною, що забезпечує більш високу міцність та надійність з'єднання арматури з деревиною.

Оскільки, міцність арматури впливає на несучу здатність армованого елемента з деревини, то необхідно враховувати її при проєктуванні таких

елементів і розраховувати сумісно [7-10]. Тому армування дерев'яних елементів та конструкцій раціонально проводити з використанням сталей, міцнісні та пружні властивості яких найбільш повно відповідають властивостям деревини.

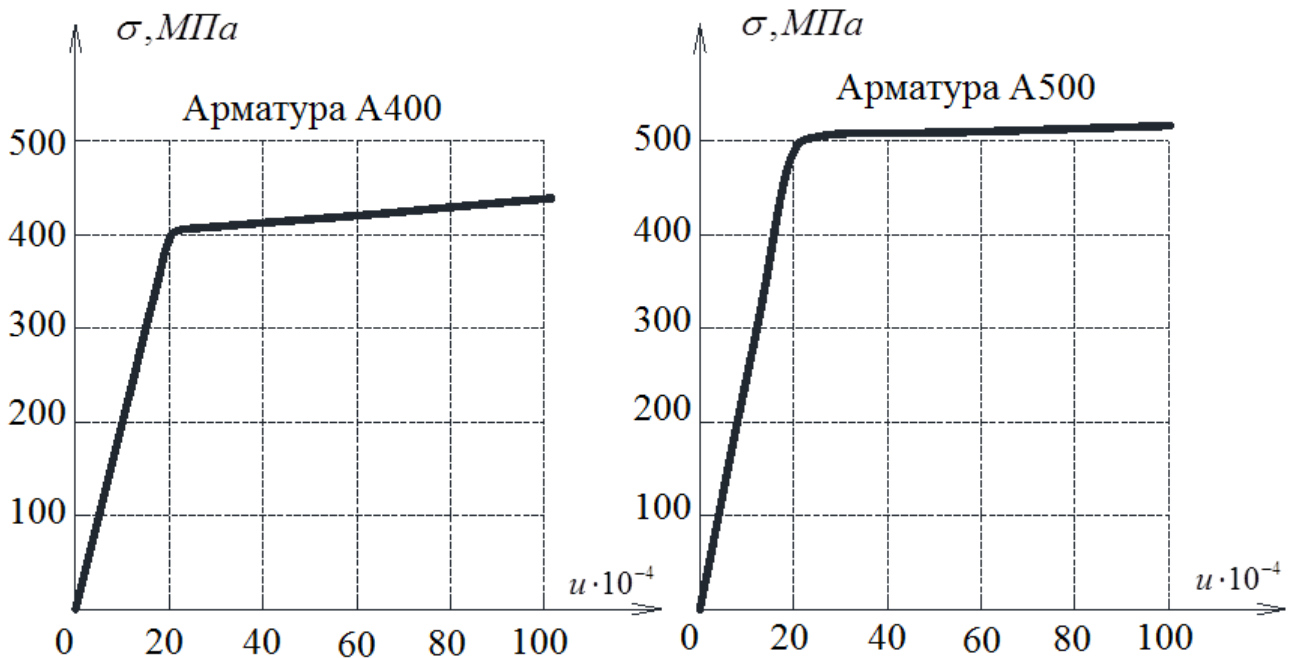


Рис. 1. Узагальнені діаграми деформування арматури А-400, А500

Композитна арматура. Однією з альтернатив для металеві арматури є композитна арматура, яка має деякі переваги. Композитна арматура виготовляється шляхом протяжки безперервних тонких волокон через зв'язуючий матеріал. Звідси і слідує назва «композит» присутність в'язучого та волокон. Волокна в даному композиті виконують роль армування, а в'язуче виконує роль у формуванні перерізу. В зв'язку з присутністю направленості в композитній арматурі волокон, цей композитний матеріал є анізотропним.

Композитна неметалева арматура - це жмуток тонких волокон діаметром 14...16 мкм, змащених в'язучою термореактивною смолою (пластиком).

Композитна арматура існує чотирьох видів: склопластикова арматура (GFRP - Glass Fiber-Reinforced Polymers) (з скляними волокнами); вуглепластикова арматура (CFRP - Carbon Fiber-Reinforced Polymers) (з вуглецевими волокнами); базальтопластикова (BFRP - Basalt Fiber-Reinforced Polymers) (з базальтовими волокнами); органістична AFRP (з артемідними волокнами); органістична NFRP (з натуральними тканинами). Найпоширенішими з них в будівництві є вуглецева, базальтова та склопластикова.

Композитна має наступні переваги в порівнянні з металевою: стійка до температурних перепадів, збільшує термін служби конструкції, не піддається впливу агресивних середовищ, невелика вага, довговічна, нетоксична, може виготовлятися будь-якої довжини.

Базальтова арматура *BFRP* використовується як армуючий матеріал для підсилення дерев'яних та бетонних конструкцій. В роботі [17] наведені міцнісні та деформативні характеристики (табл. 1), а характер деформування стержнів різних діаметрів показано на рис. 2. З рисунку 2 видно, що деформування базальтової арматури відбувається практично за прямо пропорційною залежністю від початку завантаження аж до повного руйнування.

Таблиця 1

Усереднені значення фізико-механічних характеристик зразків базальтопластикової арматури різних діаметрів за [17]

Ø зр.	d , мм	l_0 , мм	Δl , мм	F_{max} , кН	σ_s , МПа	E_H , МПа	Δ , %
4	4,06	139	3,05	14,28	1100	47905	2,18
6	6,18	140	3,05	33,20	1105	48932	2,13
8	8,26	141	3,00	60,25	1124	44755	2,12
10	10,40	140	2,95	90,73	1068	46125	2,10
12	12,48	140	2,60	122,16	998	45378	1,88

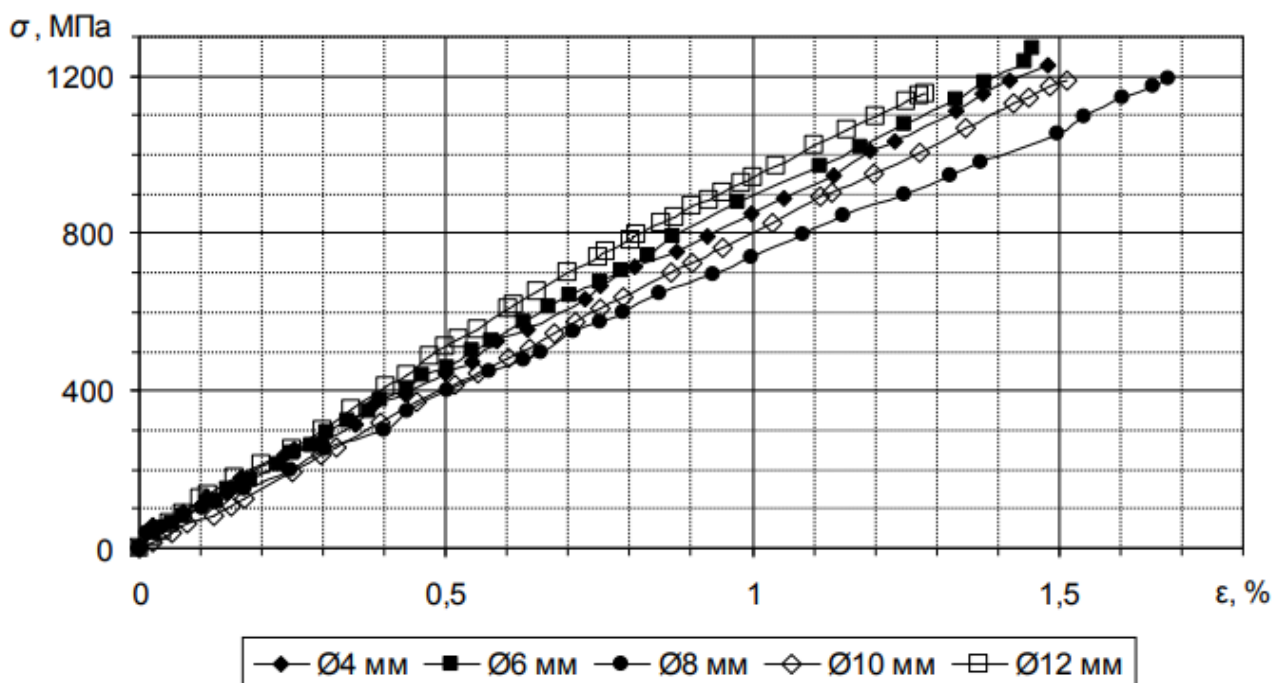


Рис.2. Залежність «напруження - відносні деформації» базальтопластикової арматури за [17]

Склопластикова композитна арматура GFRP стійка до дії агресивного середовища.

Механічні характеристики такої арматури є наступними: тимчасовий опір розриву - до 1500 МПа; початковий модуль пружності – 50 000 МПа; щільність -1,8-2 т/м³ при вмісті скловолокна 80% (за масою); робоча діаграма при розтягуванні - прямолінійна аж до розриву (граничні деформації на даний момент досягають 2,5-3 %); довготривала міцність арматури в нормальних температурно-вологіх умовах експлуатації — 65 % від тимчасового опору; коефіцієнт лінійного розширення - $5,5-6,5 \times 10^{-6}$.

Вуглецева композитна арматура GFRP. За кордоном найбільше використовується вуглепластикова арматура для армування елементів та конструкцій з деревини. Закордонні вчені провели цілий ряд досліджень із застосуванням стержнів, стрічок, полотен, пластин та сіток із вуглеволокна в якості армуючого матеріалу.

В роботі [18] наведено дослідження графіто-вуглецевого композиту. Композитна арматура на основі вуглецевих волокон застосовується для армування бетонних, дерев'яних елементів та конструкцій, а також для їх підсилення.

Композити з вуглецю і графіту є різними. Вуглецеві волокна мають від 93 до 95% вмісту вуглецю, але графітові містять більше 99% вуглецю. Вуглецеві волокна виготовляють за температури 1316°C, а графітові – за понад 1900°C.

Зазвичай поліакрилонітрил піддається трьом процесам, а саме стабілізації, карбонізації та графітизації в контрольованих умовах. При високо контрольованому стані технологічного процесу модуль пружності волокна може досягати до 400 ГПа після такого процесу піролізу.

Механічні характеристики волокон, що використовуються в полімерних матричних композитах за даними [18] приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Механічні характеристистики волокон, що використовуються в полімерних матричних композитах за [18]

Властивості	Одиниці	Графіт	Арамід	Скло	Сталь	Алюміній
Питома вага	-	1,8	1,4	2,5	7,85	2,6
Модуль пружності	ГПа	230	124	85	206,8	68,95
Максимальна міцність на розрив	МПа	2067	1379	1550	648,1	275,8

Композитна арматура на основі арамідних волокон. Арамідне волокно - це ароматична органічна сполука, що складається з вуглецю, водню, кисню і азоту. Його переваги – низька щільність, висока міцність на розрив, стискаючі властивості та деградація під впливом сонячного світла. Композитна арматура на основі арамідних волокон найменше використовується для армування дерев'яних брусів.

Порівняння усереднених діаграм деформування різних матеріалів за осьового розтягу приведено на рисунку 3.

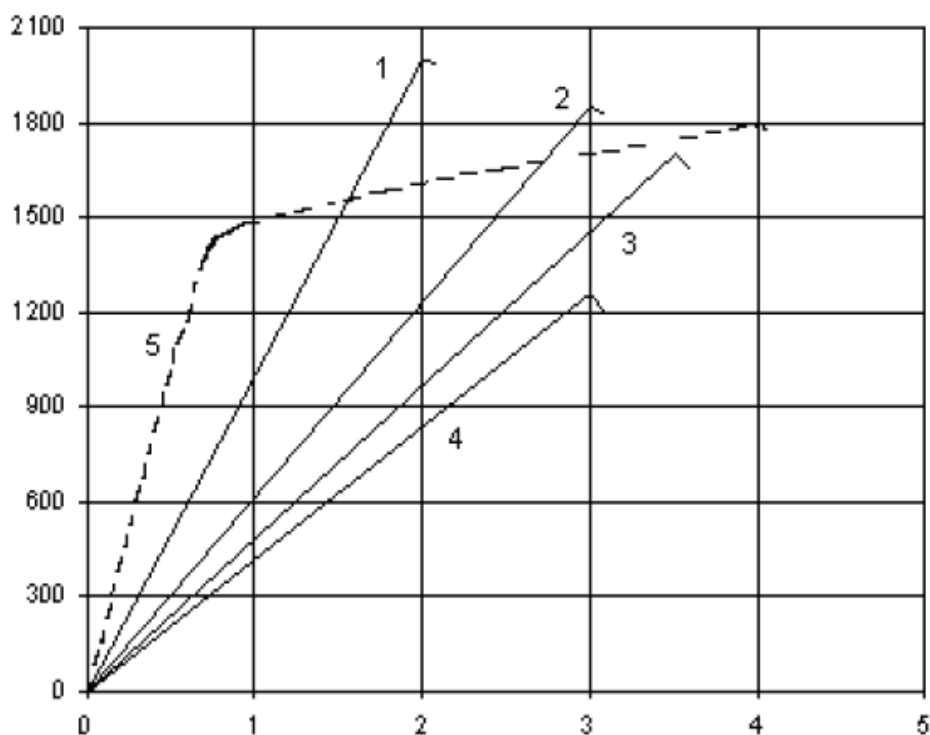


Рис. 3. Усереднені діаграми деформування арматури за осьового розтягу:

1 - вуглепластикова, 2 - арамідопластикова, 3 - базальтопластикова, 4-склопластикова, 5 - семидротовий сталевий канат діаметром 15мм. [12]

Як видно з рис. 3 склопластикова арматура GFRP має найменший модуль пружності та найменшу міцність, а найбільшу міцність і найвищий модуль пружності - вуглецева CFRP.

Висновки.

1. Проаналізовано вітчизняний та закордонний досвід використання металевої та неметалевої арматури для підсилення несучих дерев'яних елементів та конструкцій в промисловому та цивільному будівництві, а також в інженерних спорудах.

2. Охарактеризовано основні види металевої і неметалевої арматури та їх механічні характеристики.

3. Наведено основні переваги та недоліки таких видів армування.

4. В подальшому будуть проведені експериментальні дослідження з комбінованим армуванням дерев'яних елементів та конструкцій.

Список джерел

1. Сасовський Т.А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2016. 24 с.

2. 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.

3. Вареник К. А. Расчет центрально-сжатых деревянных элементов с учетом ползучести: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Новгород Великий: НГУ им. Ярослава Мудрого, 2015. 167 с.

4. Гомон С. С. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2020. 383с.

5. 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.

6. Гомон С. С. Критерій руйнування позацентрово стиснутих та згинальних елементів з деревини з урахуванням пружно пластичної роботи матеріалу з обмеженою деформативністю. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць*. Рівне, 2013. Вип. 25. С. 248–253.

7. Рощина С. И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01. Москва. 2009. 394 с.

8. Lukin M., Prusov, E., Roshchina, S., Karelina M., Vatin N. Multi-Span Composite Timber Beams with Rational Steel Reinforcements. *Buildings*, 2021, 11, 46.

9. Щуко В. Ю. Клееные деревянные балки, армированные стальной арматурой. *Труды Иркутского политехнического института*. Иркутск, 1967. Вып. 37. С. 51- 59.

10. Стоянов В. В., Окунь И.В. Усиление балочных конструкций методом послойного армирования. *Известия вузов. Строительство и архитектура*, 2013. № 11. С. 44-47.

11. Демчина Б.Г., Олексин Г.М., Сурмай М.І. Попередньо напружені дерев'яні конструкції з неметалевою арматурою. *Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва*. Львів: НУЛП, 2012. № 737. Том I. С. 87 - 92.

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

13. Стоянов В.О. Прочность и деформативность изгибаемых деревянных элементов, усиленных полимерными композитами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Москва, 2018, 26 с.

14. Пятницкий А. А., Крутик С. А., Журенкова М. А. Возможности использования композиционных материалов на основе углепластика в деревянных конструкциях. *Научно-технический вестник Поволжья*, 2013. № 3. С. 241 – 245.

15. Устарханов Т.О., Ирзаев Г.Г., Вишталов Р.И. Усиление напряженных зон дощатоклееной балки армированием углеродной тканью. *Научные исследования: итоги и перспективы*, 2020. Том 1. № 3. С. 38 - 44

16. 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.

17. Гримак О. Я. Міцність, деформативність і тріщиностійкість бетонних балкових конструкцій мостів із базальтопластиковою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Львів: НУ «Львівська політехніка», Львів, 2019, 180 с.

18. Kaw, A. K.. *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2006. 531 p.

References

1. Sasovs'kyu T.A. (2016). Stress-strain state of glued wood beams under low-cycle loads. [Napruzheno-deformovanyy stan balok iz kleyenoyi derevyny za diyi malotsyklovykh navantazhen']: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Rivne, 24 s. (in Ukrainian).

2. Pavlyuk A.P. (2019). Stress-strain state of glued wood elements in the conditions of oblique bending. [Napruzheno-deformovanyy stan elementiv z kleyenoyi derevyny v umovakh kosoho z'hynu]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Rivne, 200 s. (in Ukrainian).

3. Varenik K. A. (2015). Calculation of centrally compressed wooden elements taking into account creep. [Raschet tsentral'no-szhatikh derevyannykh elementov s uchetom polzuchesti]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Novgorod Velikiy: NGU im. Yaroslava Mudrogo, 167 s. (in Russian).

4. Gomon S.S. (2020). Stress-strain state and calculation according to the deformation method of wood elements at single and repeated loads. [Napruzhenodeformovanyu stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh]: dys. ... dokt. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv, 383 s. (in Ukrainian).

5. 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 szhatozognutykh nesushchikh sterzhnevykh elementov derevyannykh setchatykh kupolov i sovershenstvovaniye ikh uzlovykh soyedineniy]: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Sankt-Peterburg, 23 s. (in Russian).

6. Gomon S. S. (2013). Criterion of destruction of eccentrically compressed and bending elements from wood taking into account elastic-plastic work of material with limited deformability. [Kryteriy ruynuvannya pozatsentrovo stysnutykh ta z'hynal'nykh elementiv z derevyny z urakhuvannyam pruzhno plastychnoyi roboty materialu z obmezhenoju deformatyvnytyu]. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: zb. nauk. prats'. Rivne, Vyp. 25. S. 248–253. (in Ukrainian).

7. Roshchina S. I. (2009). Strength and deformability of glued reinforced wooden structures under long-term load [Prochnost' i deformativnost' kleyenykh armirovannykh derevyannykh konstruktsiy pri dlitel'nom deystvii nagruzki]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.23.01. Moskva. 394 s. (in Russian).

8. Lukin M., Prusov, E., Roshchina, S., Karelina M., Vatin N. (2021). Multi-Span Composite Timber Beams with Rational Steel Reinforcements. Buildings, 11, 46. (in English).

9. Shchuko V. YU. (1967). Laminated wooden beams reinforced with steel reinforcement. [Kleyenyye derevyannyye balki, armirovannyye stal'noy armaturoy]. Trudy Irkutskogo politekhnicheskogo instituta. Irkutsk, Vyp. 37. S. 51 - 59. (in Russian).

10. Stoyanov V. V., Okun' I. V. (2013). Strengthening beam structures by layer-by-layer reinforcement. [Usileniye balochnykh konstruktsiy metodom posloynogo armirovaniya]. Izvestiya vuzov Stroitel'stvo. – № 11, s. 44 - 47. (in Russian).

11. Demchyna B. H., Oleksyn H. M., Surmay M. I. (2012). Prestressed wooden structures with non-metallic reinforcement. [Poperedn'o napruzheni derev'yani konstruktsiyi z nemetalevoyu armaturoyu]. Visnyk NULP: Teoriya i praktyka budivnytstva. L'viv, NULP, № 737. Tom I. S. 87-92. (in Ukrainian).

12. Surmay M. I. (2015). Strength and deformability of board-glued beams reinforced with fiberglass and basalt reinforcement. [Mitsnist' ta deformatyvnist'

doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu]: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv, 185 s. (in Ukrainian).

13. Stoyanov V. O. (2018). Strength and deformability of bendable wooden elements reinforced with polymer composites. [Prochnost' i deformativnost' izgibayemykh derevyannykh elementov, usilennykh polimernymi kompozitami]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Moskva, 26 s. (in Russian).

14. Pyatnitskiy A. A., Krutik S. A., Zhurenkova M. A. (2013). Possibilities of using composite materials based on carbon fiber in wooden structures. [Vozmozhnosti ispol'zovaniya kompozitsionnykh materialov na osnove ugleplastika v derevyannykh konstruktsiyakh]. Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya, № 3. S. 241–245. (in Russian).

15. Ustarkhanov T.O., Irzayev G.G., Vishtalov R.I. (2020). Reinforcement of the stressed zones of a glued-laminated beam by reinforcing with carbon fabric. [Usileniye napryazhennykh zon doshchatokleyenoy balki armiroyaniyem uglerodnoy tkan'yu]. Nauchnyye issledovaniya: itogi i perspektivy, Tom 1. № 3. S. 38-44. (in Russian).

16. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. (2020). Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. Buildings, 10(5), 92. (in English).

17. Hrymak O. YA. (2019) Strength, deformability and crack resistance of concrete beam structures of bridges with basalt-plastic reinforcement. [Mitsnist', deformatyvnist' i trishchynostiyskist' betonnykh balkovykh konstruktsiy mostiv iz bazal'toplastykovoyu armaturoyu]: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv: NU «L'vivs'ka politekhnika», L'viv, 180 s. (in Ukrainian).

18. Kaw, A. K. (2006). Mechanics of Composite Materials. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, (in English).

Аннотация

Гомон Петр Святославович, кандидат технических наук, доцент, Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования, Ровно.

Анализ использования металлической и неметаллической арматуры для усиления деревянных элементов и конструкций

Проанализирован отечественный и зарубежный опыт использования металлической и неметаллической арматуры для усиления несущих деревянных элементов и конструкций в промышленном и гражданском строительстве, а также в инженерных сооружениях. Охарактеризованы основные виды металлической и неметаллической арматуры и их механические характеристики. Представлены основные преимущества и недостатки таких видов армирования. В дальнейшем будет предпринята попытка использования

комбинированного армирования для усиления деревянных элементов и конструкций.

Ключевые слова: стальная арматура; композитная арматура; деревянный элемент; армирование; несущая способность; жесткость.

Annotation

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

Analysis of the use metal and non-metal reinforcements for strengthening wooden elements and structures

Domestic and foreign experience in the use of metallic and non-metallic reinforcement to strengthen load-bearing wooden elements and structures in industrial and civil construction, as well as in engineering structures is analyzed. The main types of metallic and non-metallic fittings and their mechanical characteristics are characterized. A detailed analysis of steel and various types of composite reinforcement (basalt reinforcement BFRP, fiberglass composite reinforcement GFRP, carbon composite reinforcement CFRP, composite reinforcement based on aramid fibers).

Currently, designers use reinforced steel, usually corrugated reinforcement, of such classes, which has a site of fluidity, to reinforce glued wood elements. Since the strength of reinforcement affects the load-bearing capacity of the reinforced element of wood, it is necessary to take it into account when designing such elements and calculate together. Therefore, it is rational to reinforce wooden elements and structures with the use of steels, the strength and elastic properties of which most fully correspond to the properties of wood.

There are four types of composite reinforcement: fiberglass reinforcement (with glass fibers); carbon fiber fittings (with carbon fibers); basaltoplastic (with basalt fibers); organoplastic (with artemis fibers); organoplastic (with natural fabrics). The most common of them in construction are carbon, basalt and fiberglass. The main advantages and disadvantages of such types of reinforcement are given. Composite has the following advantages over metal: resistant to temperature changes, increases the service life of the structure, is not exposed to aggressive environments, light weight, durable, non-toxic, can be made of any length.

In the future, there will be an attempt to use combined reinforcement to strengthen wooden elements and structures.

Keywords: steel reinforcement; composite reinforcement; wooden element; reinforcement; load-bearing capacity; rigidity.