

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.64.334-342>

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

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

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА РІЗНИХ ВАРІАНТІВ ТА ВІДСОТКІВ АРМУВАННЯ

Анотація: запропоновано послідовність розрахунку дерев'яних елементів підсилених вклеєними металевими елементами. Запропоновано алгоритм для визначення графіку «момент-кривина» з використанням оптимізованих діаграм деформування деревини. Проведено розрахунки для різних форм перерізів балки. Проведено розрахунки поперечного перерізу та визначено графіки «момент-кривина» для різного варіанту армування дерев'яного елемента (з армуванням стиснутої зони, розтягнутої, а також при армуванні обох зон). Графіки визначалися з різними відсотками і способами армування елементів. Було встановлено, що найкращий результат армування, виникає при армуванні стиснутої та розтягнутої зон, менш ефективний при армуванні балки в стиснутій зоні, найменший ефект армування розтягнутої зони.

Ключові слова: балка; згин; деревина; несуча здатність; армування; переріз.

Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. В будівництві промислових та цивільних будівель дуже часто використовуються дерев'яні елементи та конструкції [1-9]. Найчастіше в будівлях застосовуються згинальні елементи з деревини, зокрема балки [10, 11]. Врахування механічних характеристик таких елементів є досить важливим, тому що воно сприяє сучасному достовірному розрахунку цих елементів. Застосування ж оптимізованих діаграм деформування вздовж волокон деревини є актуальним для визначення напружено-деформованого стану поперечного перерізу згинального дерев'яного елемента. Не раз було обговорено можливість армування деревини та вплив армування на несучу здатність поперечного перерізу. Проте використання армування визначалось без врахування

нелінійності деформування деревини. Тому основою досліджень є врахування нелінійності деформування деревини шляхом використання оптимізованих діаграм деформування за різних варіантів і коефіцієнтів армування з проведенням аналізу отриманих результатів при моделюванні їх роботи.

Мета статті - змодельовати роботу поперечного перерізу згинальних дерев'яних елементів з різними варіантами і відсотками армування.

Викладення основного матеріалу. Для визначення напружено-деформованого стану згинального дерев'яного елемента використаємо алгоритм описаний в роботі [12, 13]. Проте для описання функцій використаємо функції, які описують нелінійну роботу деревини [14, 15]. Алгоритм для встановлення графіку «момент-кривина» зображений на рис. 1.

Також було проведено моделювання роботи розрахункового поперечного перерізу підсиленого згинального елемента металевими матеріалом з однієї сторони. Проведено розрахунки з різним відсотком армування перерізу підсиленних окремо в стиснутій та розтягнутій зонах. Графіки «момент-кривина» з різним відсотком армування для згинального елемента, підсиленого в стиснутій зоні показано на Рис.3; такі ж графіки, які підсилені з розтягнутою зоною - на Рис.4.

Як видно з Рис. 2, 3, 4 результат армування різними способами дерев'яного елемента має різний ефект в кожному з варіантів. Тому, можна сказати, що найкращий ефект від армування є при армуванні одночасно стиснутої та розтягнутої зон. Менший ефект від армування дає підсилення стиснутої зони згинального дерев'яного елемента. І ще менший ефект підсилення розтягнутої зони. Розрахункова несуча здатність перерізів отриманих за допомогою графіку «момент - кривина» наведені в Табл.1, а також наведено відсоток збільшення несучої здатності та зміни кривини.

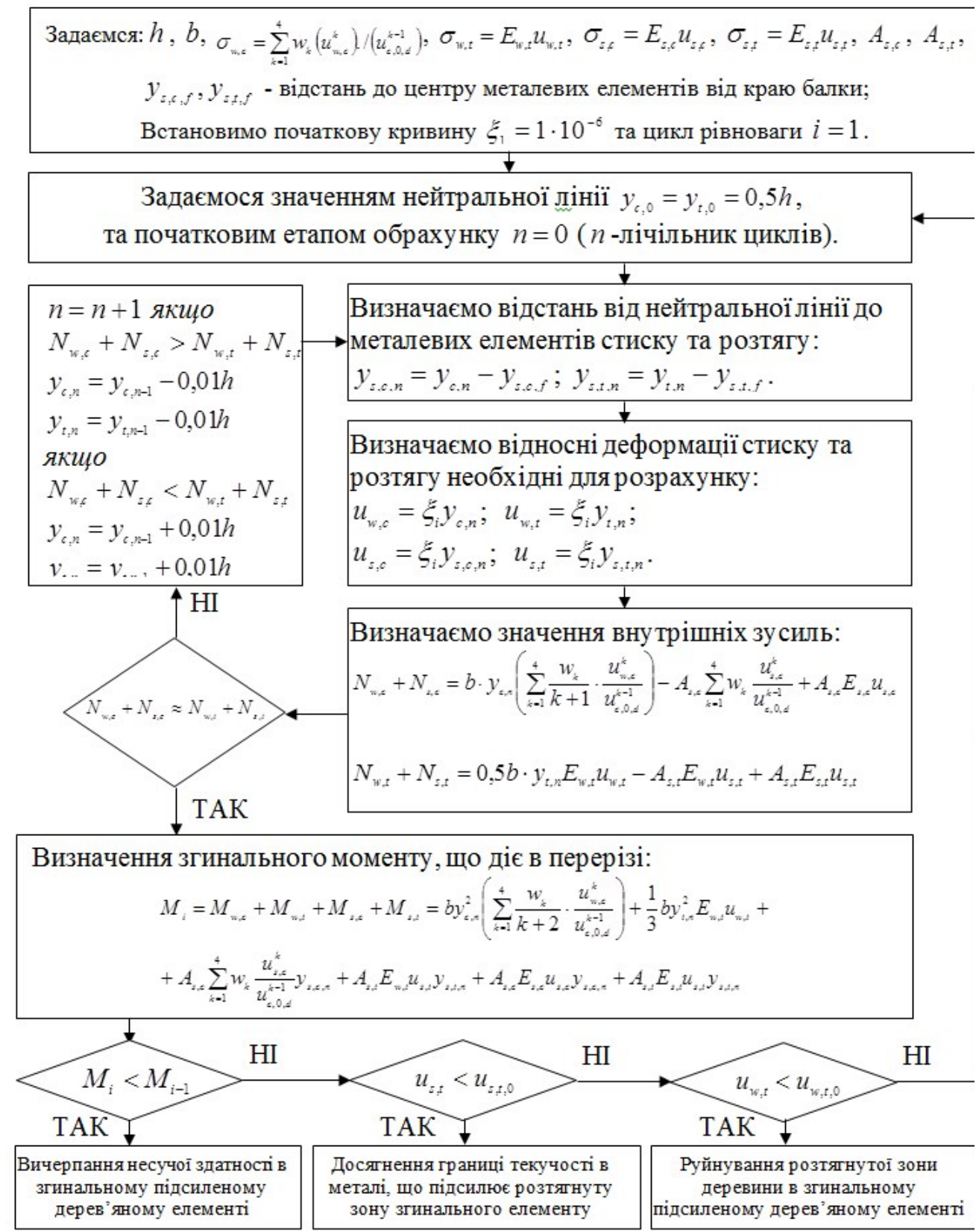


Рис. 1. Алгоритм побудови графіка «момент-кривина» для підсиленого дерев'яного елемента використанням оптимізованих діаграм деформування

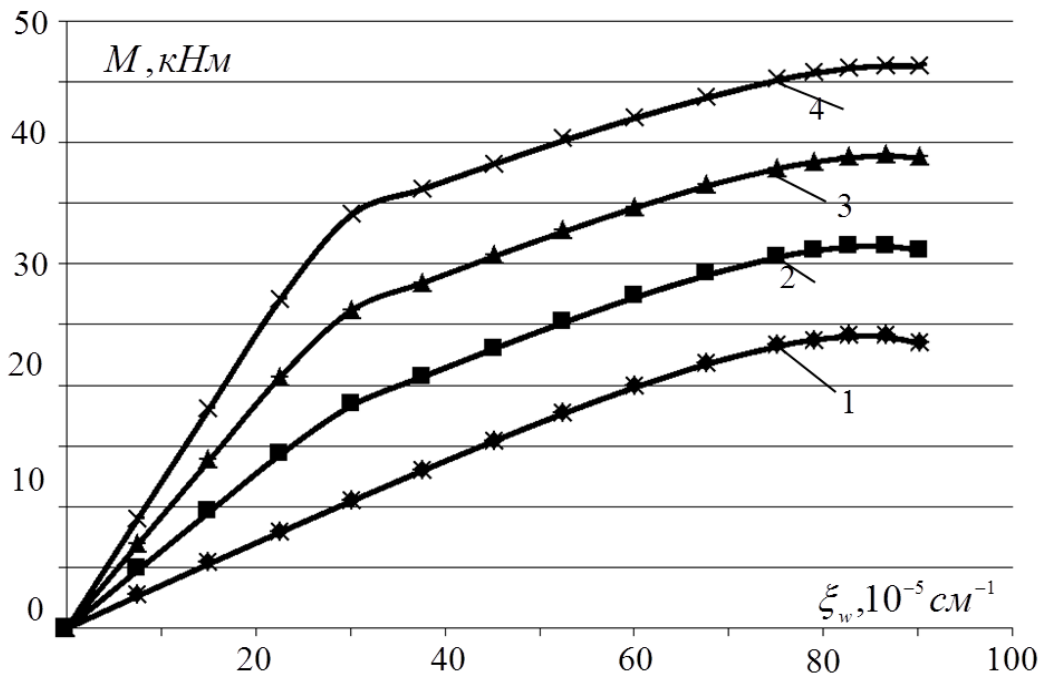


Рис. 2. Графіки «момент-кривина» для поперечних перерізів з різними відсотками армування та без: 1) поперечний переріз без армування; 2) згинальний елемент з 1% симетричним армуванням; 3) з 2%; 4) з 3%

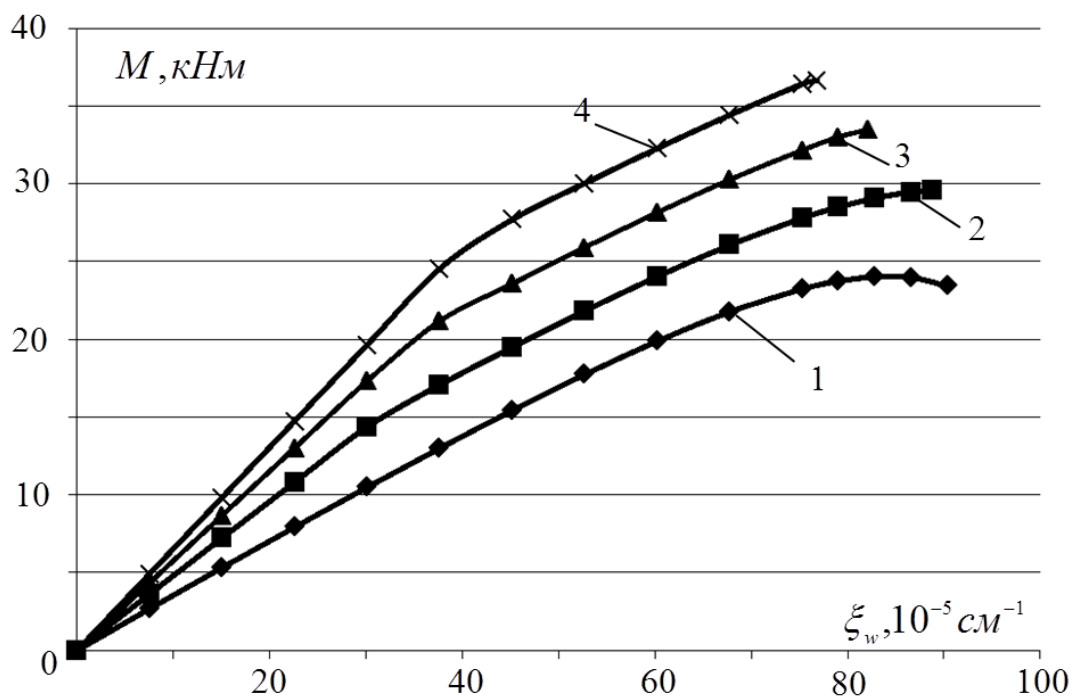


Рис. 3. Графіки «момент-кривина» для елемента підсиленого в стиснутій зоні та без: 1) поперечний переріз без армування; 2) згинальний елемент з 1% відсотком симетричного армуванням; 3) з 2%; 4) з 3% армування стиснутої зони

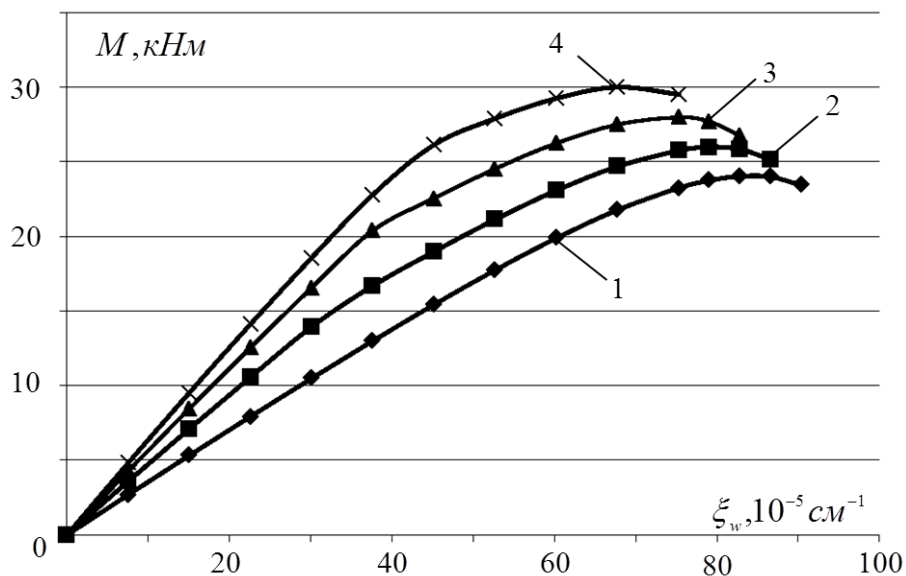


Рис. 4. Графіки «момент-кривина» для елементу підсиленого в розтягнутій зоні та без:
 1) поперечний переріз без армування; 2) згинальний елемент з 1% відсотком симетричного армування; 3) з 2%; 4) з 3% армування розтягнутої зони

Таблиця 1

Збільшення несучої здатності згинального дерев'яного елемента за рахунок підсилення

| Відсоток армування | Несуча здатність, кНм | Збільшення несучої здатності, % | Відносні деформації стиску деревини, $u_{w,c}$ | Відносні деформації розтягу деревини, $u_{w,t}$ |
|---|-----------------------|---------------------------------|--|---|
| Неармована балка | 24,03 | - | 0,00674 | 0,00567 |
| Згинальний дерев'яний елемент з симетричним армуванням | | | | |
| 1% | 31,46 | 30,92 | 0,00710 | 0,00588 |
| 2% | 38,88 | 47,20 | 0,00706 | 0,00593 |
| 3% | 46,30 | 57,28 | 0,00701 | 0,00597 |
| Згинальний дерев'яний елемент з армуванням стиснутої зони | | | | |
| 1% | 29,60 | 12,03 | 0,00694 | 0,00638 |
| 2% | 33,48 | 31,93 | 0,00590 | 0,00638 |
| 3% | 36,66 | 37,72 | 0,00511 | 0,00638 |
| Згинальний дерев'яний елемент з армуванням розтягнутої зони | | | | |
| 1% | 25,98 | 5,32 | 0,00676 | 0,00510 |
| 2% | 27,98 | 15,20 | 0,00679 | 0,00451 |
| 3% | 30,00 | 21,34 | 0,00645 | 0,00371 |

Висновки. За проведеним аналізом можна зробити наступні висновки:

1. Найбільше підвищення несучої здатності елемента з деревини настає при одночасному підсиленні стиснутої та розтягнутої зон згинального дерев'яного елемента.

2. Можливе застосування армування стиснутої зони для підвищення несучої здатності дерев'яних елементів, а застосування підсилення розтягнутої зони слід виконувати у випадках, коли необхідно підвищити надійність цієї зони або підсилити елемент, який має дефекти в розтягнутій зоні.

3. Необхідно відзначити зміну форми графіка «момент-кривина» при симетричному армуванні, а саме: зі збільшенням відсотка армування його форма наближається до прямолінійної.

Список використаних джерел

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

2. Gomon S., Gomon P., Karavan V., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. *AIP Conference Proceedings* 2077, 020019 (2019).

DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091880>.

3. 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>.

4. 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.

5. De la Rosa García P., Cobo Escamilla A., Nieves González Garcia M. Bending Reinforcement of Timber Beams with Composite Carbon Fiber and Basalt Fiber Materials. *Compos. Part B Eng.* 2013, 55, Pp. 528–536.

6. Wdowiak A., Brol J. Effectiveness of Reinforcing Bent Non-Uniform Pre-Stressed Glulam Beams with Basalt Fibre Reinforced Polymers Rods. *Materials* 2019, 12, 3141.

7. 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- 8.

8. 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>.

9. 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. 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).

10. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2000. 304с.

11. Гомон С.С. Конструкції із дерева та пластмас: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2016. 219 с.

12. 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.

13. Гомон П.С. Апроксимація діаграми «момент-кривина» дерев'яних армованих та неармованих балок прямокутного перерізу. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2021. Вип. 78. С. 157-165. DOI: [10.32347/2076-815x.2021.78.157-15](https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.157-15)

14. Гомон С.С. Аналіз залежностей для побудови повних діаграм механічного стану деревини « σ - ϵ ». *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2019. Вип. 37. С. 136–142.

15. Yasniy P., Gomon S., Gomon P. On approximation of mechanical condition diagrams of coniferous and deciduous wood species on compression along the fibers. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol. 97. No 1. P. 57–64. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2020.01.

References

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

2. Gomon S., Gomon P., Karavan V., Podhorecki A. (2019). Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. AIP Conference Proceedings 2077, 020019.

3. 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).

4. Gomon S., Gomon P., Homon S., Polishchuk M., Dovbenko T., Kulakovskiy L. (2022). Improving the strength of bending elements of glued wood. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36. Pp. 211-216. (In English).
5. De la Rosa García P., Cobo Escamilla A., Nieves González Garcia M. (2013). Bending Reinforcement of Timber Beams with Composite Carbon Fiber and Basalt Fiber Materials. *Compos. Part B Eng.*, 55, Pp. 528–536. (In English).
6. Wdowiak A., Brol J. (2019). Effectiveness of Reinforcing Bent Non-Uniform Pre-Stressed Glulam Beams with Basalt Fibre Reinforced Polymers Rods. *Materials*, 12, 3141. (In English).
7. Gomon P.S. (2022). An innovative method of prestressing combined reinforced wooden beams. [Innovatsiynyy sposib poperedn'oho napruzhennya kombinovano armovanykh derev'yanykh balok]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya*. Kyiv: KNUBA. №79. S. 77-86. (In Ukrainian).
8. 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).
9. Gomon P.S. (2022). Stress-strain state of wood beams with combined reinforcement at different load levels. [Napruzheno-deformovanyy 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).
10. Klymenko V.Z. (2000). Structures made of wood and plastics: a study guide. [Konstruktsiyi z dereva i plastmass: navchal'nyy posibnyk]. Kyiv: Vyshcha shkola. 304s. (In Ukrainian).
11. Gomon S.S. Structures from wood and plastics: a study guide. (2016). [Konstruktsiyi iz dereva ta plastmas: navchal'nyy posibnyk]. Rivne: NUVHP. 219 s. (In Ukrainian).
12. 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 napruzheno-deformovanoho stanu pidsylenykh derev'yanykh balok pryamokutnoho pererizu]. *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy*. Rivne: NUVHP. Vyp. 39. S. 221-229. (In Ukrainian).
13. 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).

14. Gomon S.S. (2019). Dependency analysis for the construction of complete " σ - u " diagrams of the mechanical state of wood. [Analiz zalezhnostey dlya pobudovy povnykh diahram mekhanichnoho stanu derevyny « σ - u »]. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP. Vyp. 37. S. 136–142. (In Ukrainian).

15. Yasniy P., Gomon S., Gomon P. (2020). On approximation of mechanical condition diagrams of coniferous and deciduous wood species on compression along the fibers. Scientific Journal of Ternopil National Technical University. Ternopil: TNTU. Vol. 97. No 1. P. 57–64. (In English).

Annotation

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

Modeling of cross-sections of wooden elements for different options and percentages of reinforcement

A detailed analysis of literary sources on the study of strengthening of wooden elements by various methods was carried out.

The calculation sequence of wooden elements reinforced with glued metal elements is proposed. An algorithm for determining the "moment-curvature" graph using optimized wood deformation diagrams is proposed. Calculations were carried out for various forms of beam cross-sections. Calculations of the cross-section were carried out and "moment-curvature" graphs were determined for different options for the reinforcement of the wooden element (with the reinforcement of the compressed zone, the stretched zone, as well as with the reinforcement of both zones). Schedules were determined with different percentages and methods of reinforcing elements. It was established that the best result of reinforcement occurs when reinforcing compressed and stretched zones, less effective when reinforcing a beam in a compressed zone, the smallest effect of reinforcing a stretched zone.

To simulate the work of reinforced wood, the mechanical characteristics of "pine" wood with a moisture content of 12% and metal, namely the characteristics of A400S reinforcement, were used. Moment-curvature plots are given for cross-sections with different percentages of reinforcement and reinforcement in compression and tension zones. An increase in the load-bearing capacity of a bending wooden element due to various options and percentages of reinforcement reinforcement is presented.

It is necessary to note the change in the shape of the "moment-curvature" graph with symmetrical reinforcement, namely, with an increase in the percentage of reinforcement, its shape approaches a straight line. Based on the analysis, conclusions were drawn. The volume of further experimental and theoretical research on this issue is given.

Keywords: beam; bending; wood; bearing capacity; reinforcement; section.