

DOI: 10.32347/2076-815x.2022.81.124-132

УДК 624.011

к.т.н., доцент **Гомон П.С.**,
p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5312-0351, h-index:2,
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне

ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ ПАСИВНО АРМОВАНИХ ЗГИНАЛЬНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛЕВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Обґрунтовано доцільність армування сталюю арматурою елементів з цільної та клеєної деревини. Встановлено основні передумови для армування дерев'яного елемента, що працює на поперечний згин, металевими матеріалами. Встановлено напружено-деформований стан для дерев'яних елементів з армуванням стиснутої та розтягнутої зони. Розроблено алгоритм для використання різних функцій для визначення напружено-деформованого стану деревини, а також побудови графіку «момент-кривина» для різного виду армування деревини металевими матеріалами.

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

Постановка проблеми. Неодноразово згадувалось про те, що один з простих і досить суттєвих шляхів покращення властивостей деревини і підвищення фізико-механічних властивостей елемента в цілому є армування цільних та клеєних дерев'яних перерізів конструкцій металевими матеріалами, такими як арматура, листовая сталь, фасонний прокат. Це дозволяє суттєво збільшити міцність нормальних перерізів, підвищити надійність елемента та суттєво зменшує його прогин від дії зовнішнього навантаження.

Вперше армування деревини було запропоновано німецьким вченим А. Фішером ще в далекому 1926 році в Німеччині. Першими конструкціями, які були армовані, це були згинальні елементи. Армувалися вони здебільшого за допомогою цвяхів, нагелів різного виду з'єднань зубчатої конструкції. Всі ці види з'єднань мали основний недолік - це їх податливість. Проте у п'ятдесятих роках двадцятого століття відбувся стрімкий розвиток хімічної промисловості, що водночас сприяло створенню нових високоефективних синтетичних та композитних клеїв. Саме застосування цих клеїв дозволяло створити довговічні та міцні клейові з'єднання та забезпечити сумісну роботу різного виду матеріалів таких як дерево та метал.

Загалом, можна виділити два способи виготовлення армованих дерев'яних конструкцій: перший спосіб - це пасивний спосіб використання арматури, де в згинальних дерев'яних елементах використовується арматура без попереднього напруження; другий спосіб - активний де арматура попередньо напружується в згинальному елементі.

Щоб спрогнозувати загальну роботу армованого згинального елемента, потрібно розглянути його, як пасивним, так і з попередньо напруженим (активним) армуванням. Вже раніше в роботах [1-4] не раз згадувалось, що найкращим методом для аналізу роботи конструкцій є використання графіку "момент-кривина". Саме цей графік найкраще застосувати в подальшому для прогнозування напружено-деформованого стану згинального елемента на різних стадіях роботи, встановлення величини прогину згинальних елементів, а також для визначення дотичних напружень по всій довжині балок.

Аналіз практичних та теоретичних досліджень. Для того, щоб дану проблему можливо розглянути комплексно, то необхідно мати механічні властивості деревини та арматури (металевої та неметалевої), переважно деформативні та міцнісні характеристики. Особливо такі параметри повинні стосуватися критичних показників [5-12], тобто показників, які відповідають максимальним напруженням досліджуваних матеріалів.

Досить глибокі експериментально-теоретичні дослідження знаходимо в роботах [2,10,11].

Ми провели також деякі дослідження з даної проблематики [10,12-18].

Постановка завдання. Встановлення сумісності роботи деревини з сталевую та композитною пластиковою арматурою в балках, які працюють на поперечний згин від початку завантаження до вичерпання несучої здатності.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо напружено-деформований стан згинального дерев'яного елемента підсиленого металевими матеріалами. При цьому попередньо визначимо основні міцнісні та деформативні характеристики матеріалів в поперечному перерізі. Враховуючи існування оптимізованих діаграм деформування [10,11] виникає можливість збільшити точність розрахунку. Для встановлення напружено-деформованого стану поперечного перерізу армованого елемента, як і для неармованого елемента, задамося двома функціями «напруження – деформація» деревини за осьового стиску (1) та осьового розтягу (2). Також двома функціями роботи металу при стиску та розтягу відповідно (3) та (4).

$$\sigma_{w,c} = f_{w,c}(u_{w,c}); \quad (1)$$

$$\sigma_{w,t} = f_{w,t}(u_{w,t}); \quad (2)$$

$$\sigma_{s,c} = f_{s,c}(u_{s,c}); \quad (3)$$

$$\sigma_{s,t} = f_{s,t}(u_{s,t}). \quad (4)$$

Для підсиленого арматурою згинального елемента система рівнянь рівноваги має вигляд, такий самий, як і для непідсиленого елемента, тобто проекція всіх внутрішніх і зовнішніх зусиль на повздовжню вісь x елемента повинна дорівнювати 0 та сума всіх моментів по відношенню до осі z має також дорівнювати 0 (5).

$$\begin{cases} \sum N_{x,arm} = 0; \\ \sum M_{z,arm} = 0; \end{cases} \quad (5)$$

В такому випадку можна передбачити наступні варіанти напружено-деформованого стану для підсиленого згинального дерев'яного елемента, що показано на Рис. 1.

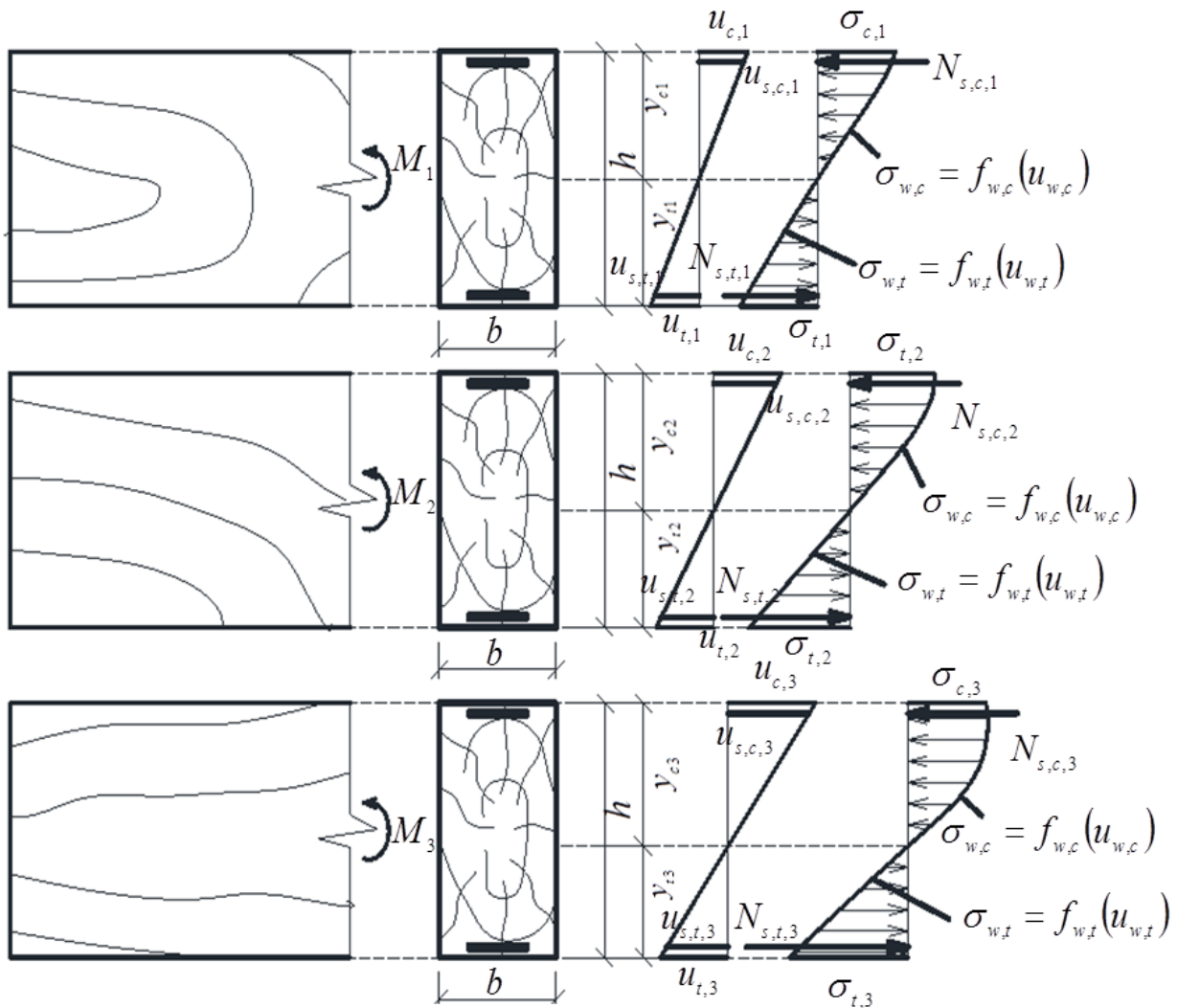


Рис. 1. Стадії напружено-деформованого стану підсиленого згинального дерев'яного елемента металевими матеріалами

Враховуючи те, що напруження виникає одночасно в деревині та металі система рівнянь рівноваги (5) для нашого перерізу прийме вигляд

$$\begin{cases} N_{w,c} + N_{s,c} - N_{w,t} - N_{s,t} = 0; \\ M_i - M_{w,c} - M_{w,t} - M_{s,c} - M_{s,t} = 0; \end{cases} \quad (6)$$

де $M_{w,c}$ і $M_{w,t}$ – згинальні моменти, які виникають від дії зовнішнього моменту M_i , що сприймаються деревиною підсиленими стиснутою та розтягнутою зонами деревини;

$M_{s,c}$ і $M_{s,t}$ – згинальні моменти, які виникають від дії зовнішнього моменту M_i , відповідно у стиснутому та розтягнутому металі;

$N_{w,c}$ і $N_{w,t}$ – рівнодіючі внутрішніх зусиль у стиснутій та розтягнутій зонах деревини;

$N_{s,c}$ і $N_{s,t}$ – рівнодіючі внутрішніх зусиль у стиснутій та розтягнутій зонах поперечного перерізу.

Внутрішні зусилля, які виникають в нормальному поперечному перерізі згинального елемента, з врахуванням функцій деформування деревини

$$N_{w,c} = b \cdot y_c \int_0^{u_c} f_{w,c}(u_{w,c}) \frac{1}{u_c} du - A_{s,c} f_{w,c}(u_{s,c}); \quad (7)$$

$$N_{w,t} = b \cdot y_t \int_0^{u_t} f_{w,t}(u_{w,t}) \frac{1}{u_t} du - A_{s,t} f_{w,t}(u_{s,t}); \quad (8)$$

$$M_{w,c} = b \cdot y_c^2 \int_0^{u_c} \frac{u}{u_c} f_{w,c}(u_{w,c}) du - A_{s,c} f_{w,c}(u_{s,c}) y_{s,c}; \quad (9)$$

$$M_{w,t} = b \cdot y_t^2 \int_0^{u_t} \frac{u}{u_t} f_{w,t}(u_{w,t}) du - A_{s,t} f_{w,t}(u_{s,t}) y_{s,t}. \quad (10)$$

Значення внутрішніх зусиль, що сприймає арматура в стиснутій та розтягнутій зоні буде рівним

$$N_{s,c} = A_{s,c} f_{s,c}(u_{s,c}) \quad (11)$$

$$N_{s,t} = A_{s,t} f_{s,t}(u_{s,t}) \quad (12)$$

де $A_{s,c}, A_{s,t}$ – площа поперечного перерізу елементів підсилення відповідно стиснутого та розтягнутого;

$u_{s,c}, u_{s,t}$ – відносні деформації в підсилених елементах.

Значення згинального моменту, що сприймає металеве підсилення в стиснутій та розтягнутій зонах можливо визначити

$$M_{s,c} = N_{s,c} y_{s,c} = A_{s,c} f_{s,c}(u_{s,c}) y_{s,c} \quad (13)$$

$$M_{s,t} = N_{s,t} y_{s,t} = A_{s,t} f_{s,t}(u_{s,t}) y_{s,t}, \quad (14)$$

де $y_{s,c}, y_{s,t}$ – відстань від нейтральної лінії до сили, яку сприймають елементи підсилення відповідно стиснутого та розтягнутого;

Основою для розрахунку дерев'яної балки є графік «момент–кривина» [3,4]. Алгоритм визначення несучої здатності армованого елемента з деревини наведений на Рис. 2.

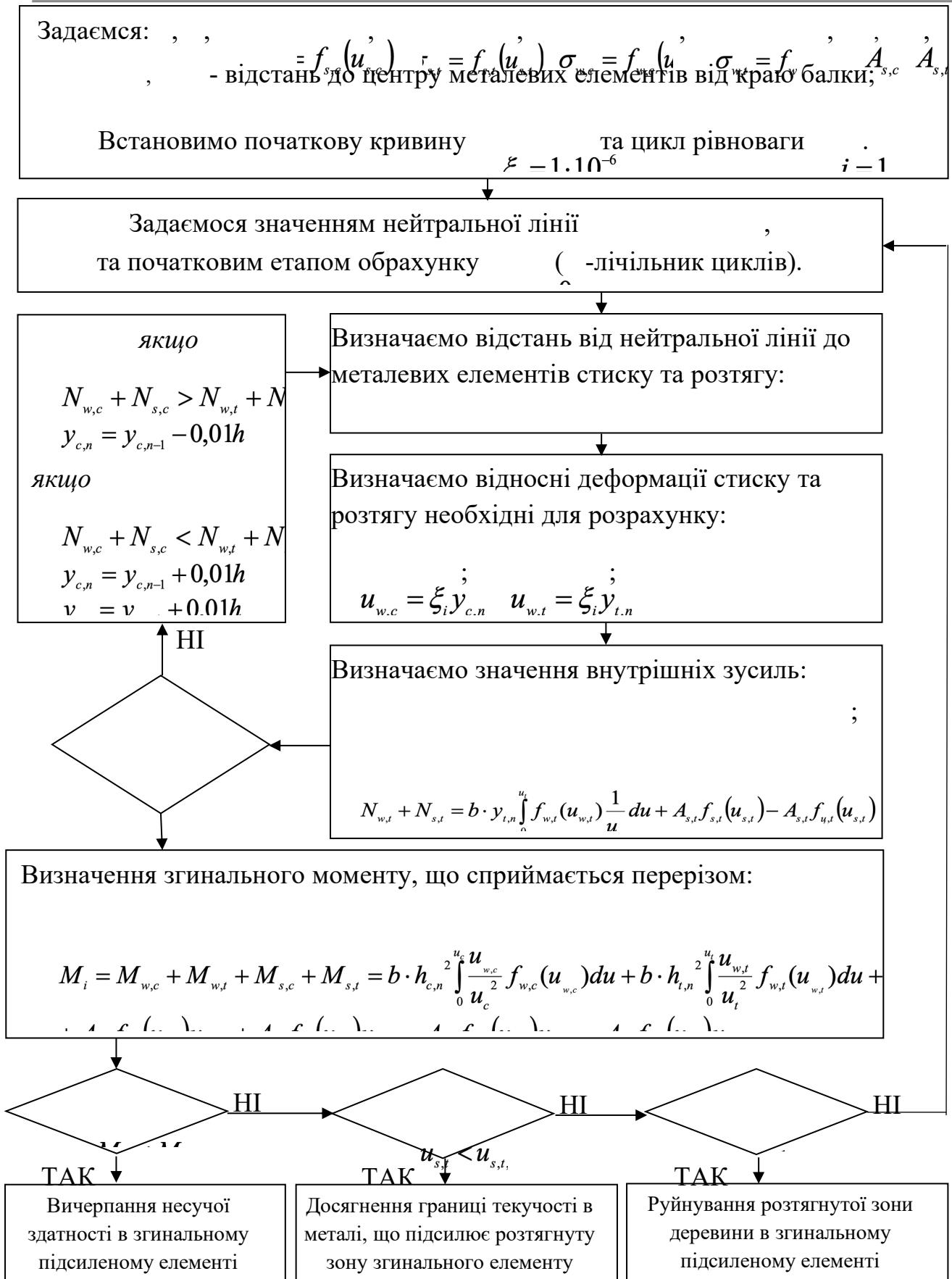


Рис. 2 Алгоритм визначення несучої здатності на основі побудови графіку «момент-кривина» для підсиленого дерев'яного елемента

Висновки. 1. Створено універсальний алгоритм для встановлення напружено-деформованого стану дерев'яного згинального елемента прямокутної форми на різних рівнях завантаження.

2. Запропонований алгоритм дозволяє використовувати для визначення напружено-деформованого стану різного роду функції деформування.

2. Для визначення несучої здатності згинального дерев'яного елемента з використанням пасивного армування враховуються фізико-механічні властивості, як деревини, так і металевих матеріалів, які застосовуються для армування елемента.

Список використаних джерел

1. Гомон П.С. Методика побудови діаграми деформування « $\sigma - \varepsilon$ » для бетону на основі експериментальних досліджень згинальних залізобетонних елементів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди*. Рівне: НУВГП, 2014. Випуск 28. С. 168-174.

2. Гомон П.С. Методика побудови діаграми деформування « $\sigma - \varepsilon$ » для деревини на основі експериментальних досліджень згинальних елементів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди*. Рівне: НУВГП, 2014. Випуск 29. С. 102-107.

3. 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.

4. Гомон П.С. Особливості побудови діаграми «момент-кривина» підсиленних балок з деревини прямокутного перерізу. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 3(95). С. 128-138.

5. 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.

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. 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.

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

9. 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.

10. Гомон С.С., Гомон П.С., Верешко О.В. До визначення критичних деформацій хвойних та листяних порід деревини. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 73. С. 78-87.

11. Гомон Св.Св. Поліпшення міцнісних та деформативних властивостей суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі: дис. ... докт. техн. наук : 01.02.04. Тернопіль, 2021, 22с.

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

13. S. Gomon, S. Gomon, P. Gomon, V. Karavan, A. Podhorecki. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. *AIP Conference Proceedings* 2077, 020019 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5091880>.
14. 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>.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Гомон П.С. Інноваційний спосіб попереднього напруження комбіновано армованих дерев'яних балок. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2022. №79. С. 77-86.

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

PREREQUISITES FOR PREDICTING THE WORK OF PASSIVELY REINFORCED BENDING WOODEN ELEMENTS WITH METALLIC MATERIALS

A detailed analysis of literary sources on the strengthening of solid and glued wooden elements of rectangular cross-section was carried out. Based on the literary analysis, the purpose and objectives of the research are given.

It is possible to distinguish two methods of manufacturing reinforced wooden structures: the first method is a passive method of using reinforcement, where reinforcement is used in bending wooden elements without prestressing; the second method is active, where the reinforcement is prestressed in the bending element.

In order to consider this problem comprehensively, it is necessary to have mechanical properties of wood and reinforcement (metallic and non-metallic), mainly deformable and strength characteristics. In particular, such parameters should apply to critical indicators, i.e. indicators that correspond to the maximum stresses of the materials under study.

To establish the stress-strain state of the cross-section of the reinforced element, as well as for the unreinforced element, it is necessary to specify two functions "stress-strain" of wood under axial compression and tension. Also, the two functions of metal work in compression and tension.

The expediency of reinforcing elements made of solid and glued wood with steel reinforcement is substantiated. The basic prerequisites for the reinforcement of a wooden element working on transverse bending with metal materials have been established. The stress-strain state is established for wooden elements with reinforcement of the compressed and stretched zone. An algorithm has been developed for the use of various functions to determine the stress-strain state of wood, as well as to construct a "moment-curvature" graph for various types of wood reinforcement with metal materials.

The need for further experimental and theoretical research is substantiated.

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

REFERENCES

1. Gomon P.S. *Metodyka pobudovy diahramy deformuvannya « » dlya betonu na osnovi eksperymental'nykh doslidzhen' z'hynal'nykh zalizobetonnykh elementiv. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli i sporudy. Rivne: NUVHP, 2014. Vypusk 28. S. 168-174. {In Ukrainian}.*

2. Gomon P.S. *Metodyka pobudovy diahramy deformuvannya « » dlya derevyny na osnovi eksperymental'nykh doslidzhen' z'hynal'nykh elementiv. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli i sporudy. Rivne: NUVHP, 2014. Vypusk 29. S. 102-107. {In Ukrainian}.*

3. Gomon P.S. *Aproksymatsiya diahramy «moment-kryvyna» derev"yanykh armovanykh ta nearmovanykh balok pryamokutnoho pererizu. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA, 2021. №78. S. 157-165. {In Ukrainian}.*

4. Gomon P.S. *Osoblyvosti pobudovy diahramy «moment-kryvyna» pidsylenykh balok z derevyny pryamokutnoho pererizu. Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya «Tekhnichni nauky». Rivne: NUVHP, 2021. Vypusk 3(95). S. 128-138. {In Ukrainian}.*

5. Svenitskiy G.V. *O predele plasticheskogo techeniya pri poperechnom izgibe i pri szhatii s izgibom. Voprosy prochnosti i izgotovleniya derevyannykh konstruktsiy, 1952. S. 69–74. {In Russian}.*

6. Surmay M.I. *Mitsnist' ta deformatyvnist' doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastikovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. L'viv, 2015. 185 s. {In Ukrainian}.*

7. Znamenskiy Ye.M. *Sovershenstvovaniye normirovaniya raschetnykh kharakteristik elementov derevyannykh konstruktsiy. Razrabotka i sovershenstvovaniye derevyannykh konstruktsiy. Sbornik nauchnykh trudov TSNIISK im. V.A. Kucherenko, 1989. S. 36–47. {In Russian}.*

8. Boldenkov R.P. Obosnovaniye metoda perescheta pokazately mekhanicheskikh svoystv drevesiny k standartnoy temperature: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. 1960. {In Russian}.

9. Gomon S. S. Napruzhenno-deformovanyy stan i rozrakhunok za deformatsiynoyu metodykoyu elementiv z derevyny pry odnorazovykh ta povtornykh navantazhennyakh: monohrafiya. Rivne : Volyns'ki oberehy, 2019. 288 s. {In Ukrainian}.

10. Homon S.S., Gomon P.S., Vereshko O.V. Do vyznachennya krytychnykh deformatsiy khvoynykh ta lystyanykh porid derevyny. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA, 2020. Vyp. 73. S. 78-87. {In Ukrainian}.

11. Homon Sv.Sv. Polipshennya mitsnisnykh ta deformatyvnykh vlastyvostry sutsil'noyi derevyny ta kompozytsiynykh materialiv na yiyi osnovi: dys. ... dokt. tekhn. nauk : 01.02.04. Ternopil', 2021, 22s. {In Ukrainian}.

12. Gomon S.S. Stadiyi napruzhenno-deformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z'hyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Vypusk 21. Rivne: NUVHP, 2011. S. 176-180. {In Ukrainian}.

13. S. Gomon, S. Gomon, P. Gomon, V. Karavan, A. Podhorecki. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. *AIP Conference Proceedings* 2077, 020019 (2019). <https://doi.org/10.1063/1.5091880>. {In English}.

14. 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}. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings10050092>.

15. 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. {In English}.

16. Homon P.S. Analiz vykorystannya metalevoyi ta nemetalevoyi armatury dlya pidsylennya derev'yanykh elementiv ta konstruktsiy. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Kyiv: KNUBA, 2022. Vypusk 62. S. 322-332. {In Ukrainian}.

17. Homon P.S. Napruzhenno-deformovanyy stan balok iz derevyny z kombinovanyym armuvannyam na riznykh rivnyakh zavantazhen'. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU, 2022. Vypusk 17. S. 23-30. {In Ukrainian}.

18. Homon P.S. Innovatsiynyy sposib poperedn'oho napruzheniya kombinovano armovanykh derev'yanykh balok. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA, 2022. №79. S. 77-86. {In Ukrainian}.