

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ КОМБІНОВАНО АРМОВАНИХ БАЛОК З ЦІЛЬНОЇ ДЕРЕВИНИ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF PRE-TENSIONED COMBINED REINFORCED SOLID WOOD BEAMS

Бабич Є. М., д.т.н., проф., (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), ORCID.ORG / 0000-0003-1746-9991, **Гомон П. С.**, к.т.н., доцент, докторант, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), ORCID.ORG /0000-0002-5312-0351

Babich E. M., doctor of technical sciences, professor, **Gomon P. S.**, PhD, associate professor; doctoral student (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Наведені результати експериментальних досліджень згинальних елементів з цільної деревини з пасивним та попередньо-напруженим комбінованим армуванням. Проведена верифікація отриманих теоретичних даних шляхом їх співставлення з експериментальними даними. Верифікація проводилась за допомогою порівняння діаграм «момент-кривина» та «момент-прогин». Проведено аналіз зміни граничного прогину для балок з різними варіантами армування та попереднього напруження. Описано характер руйнування експериментальних балок, які випробовувались. Встановлено вплив попереднього напруження на прогин та кривину згинальних елементів з цільної деревини з пасивним та попередньо-напруженим комбінованим армуванням.

Wood is the most environmentally friendly material used in construction as bending elements. As a result of the low stiffness of wooden elements that were subjected to direct and oblique transverse bending, researchers from different countries have made a lot of efforts to improve such structures by passive reinforcement with steel or composite polymer rod reinforcement or with the help of polymer tapes, nets, etc. Obtaining complete diagrams of wood deformation made it possible to develop methodological principles for modeling the work of wooden, both unreinforced and reinforced bending elements, including those with passive or pre-stressed combined reinforcement.

In the laboratory of the Department of Industrial and Civil Engineering of the National University of Water Management and Nature Management, a prestressed bending element with combined reinforcement of SBR (Prst) solid wood beams was manufactured for the first time.

The conducted pre-stressing of the investigated beams with combined SBR(Prst) reinforcement was carried out by bending by applying external forces. For beams made of solid wood SBR30(Prst) and SRB45(Prst), the prestress level was set from the limit moment that the cross section of the beam under study can take without reinforcement. After carrying out all the work on creating prestress in the solid wood element with combined reinforcement and after complete crystallization of the adhesive solutions, an experimental test of prestressed beams SBR30(Prst) and SBR45(Prst) was carried out. The calculation scheme of the beam is a beam lying freely on two supports and loaded by two concentrated forces. Destruction of a beam made of solid SBR30(Prst) wood due to chipping of a part of the wood together with the reinforcement. The destruction of the second beam took place by chipping the wood along the grain. This indicates that the influence of tangential stresses in prestressed combined reinforced beams made of solid wood is extremely large, and therefore, it is necessary to further develop a methodology and establish reinforcement of inclined sections of such elements. A statistical analysis of the convergence of theoretical and experimental curvature data depending on the applied load in the estimated most stressed cross-section of the prestressed combined reinforced beam SBR30(Prst) and SBR45(Prst), as well as the convergence of deflections, was carried out. It was established that the determination of the theoretical deflection and curvature by means of modeling allows to determine their values with high accuracy.

Ключові слова:

Дерев'яні конструкції, балки, армування, попереднє напруження.
Wooden structures, beams, reinforcement, prestressing.

Вступ. Деревина є найбільш екологічним матеріалом, який використовувався в будівництві в якості згинальних елементів. Внаслідок малої жорсткості елементів з деревини, що працювали на прямий та косий поперечний згин, дослідники різних країн доклали чимало зусиль для удосконалення таких конструкцій пасивним армуванням сталевую чи композитною полімерною стержневою арматурою чи за допомогою полімерних стрічок, сіток, тощо [1-12]. З отриманням повних діаграм деформування за дійсної роботи деревини [13-15] склалася можливість розробки методологічних засад моделювання роботи дерев'яних як неармованих так і армованих згинальних елементів в тому числі з пасивним чи попередньо напруженим комбінованим армуванням [1, 8, 9, 11, 12, 16].

Основна частина. В лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва Національного університету водного господарства та природокористування було вперше виготовлено попередньо напружений згинальний елемент з комбінованим армуванням балок з цільної деревини SBR(Prst).

Проведене попереднє напруження досліджуваних балок з комбінованим армуванням SBR(Prst) було здійснено шляхом надання вигину за допомогою прикладення зовнішніх зусиль. Для попереднього напруження використовувалась установка для випробування балок приведених в [1]. Тому місце прикладання зусилля при попередньому напруженні і при випробуванні співпадають. Для балок з цільної деревини SBR30(Prst) та SBR45(Prst) рівень попереднього напруження задавався від граничного моменту, що може сприйняти поперечний переріз досліджуваної балки без армування. Попередньо було побудовано графік «момент-кривина» для такого перерізу, без врахування вирізів під арматуру, а саме в моделюванні роботи балки SB. В нашому випадку моделюємо роботу балки з цільної деревини з врахуванням послаблень від вирізів під арматурні стержні. Для цього використаємо отримані раніше значення фізико-механічних характеристик. Граничне значення моменту для балки без армування складає $M_{\max} = 19,98 \text{кН} \cdot \text{м}$. Рівень попереднього напруження для створення вигину був прийнятий для балки з комбінованим армуванням SBR30(Prst) – $M_{\max} = 6,0 \text{кН} \cdot \text{м}$, а для балки SBR45(Prst) становив $M_{\max} = 9,0 \text{кН} \cdot \text{м}$, що в результаті складало 30% та 45% від максимального значення, яке витримала дерев'яна балка без армування SB. Роботу розрахункових нормальних поперечних перерізів згинального елемента зобразимо за допомогою графіку «момент-кривина» (рис.1, рис.2).

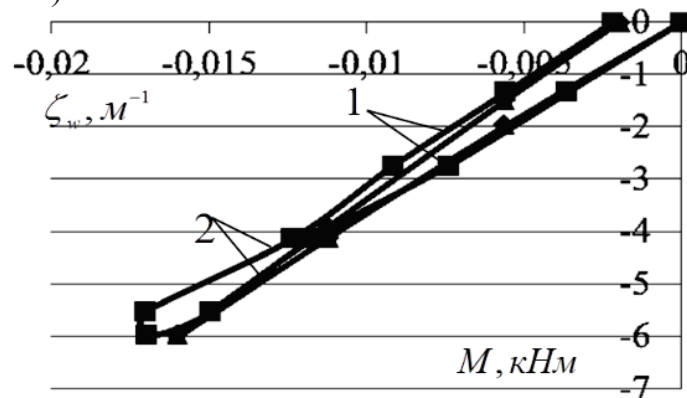


Рис.1. Експериментальний (1) та теоретичний (2) графіки «момент-кривина» при завантаженні та розвантаженні балки SBR30(Prst)

Після приведення всіх робіт по створенню попереднього напруження в елементі з цільної деревини з комбінованим армуванням та після повної кристалізації клейових розчинів було проведено експериментальне випробування попередньо-напружених балок SBR30(Prst) та SBR45(Prst). Розрахункова схема балки - це балка вільно лежача на двох опорах і

завантажена двома зосередженими силами така ж як в роботі [1]. Навантаження при експериментальних дослідженнях прикладалося ступенями в $0,1 F_{max}$ від прогнозованого максимального руйнівного з витримкою в 5 хвилин на кожному з рівнів прикладання навантаження для зняття показів з приладів встановлених на попередньо напруженій комбіновано армованій балці з цільної деревини.

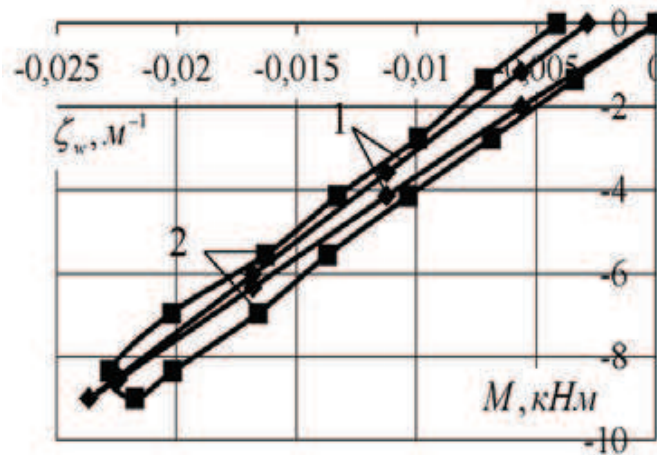


Рис.2– Експериментальний (1) та теоретичний (2) графіки «момент-кривина» при завантаженні та розвантаженні балки SBR45(Prst)

Результати експериментальних випробувань заносилися в журнал випробувань та після обробки та аналізу показані на рис.3 для балки SDR30(Prst) та рис.4 для балки SBR45(Prst).

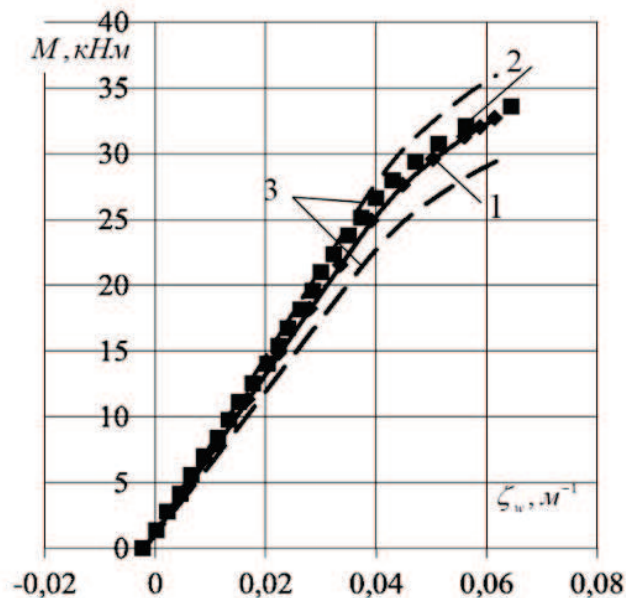


Рис.3. Теоретичні (1) та експериментальні значення (2) кривини в залежності від прикладеного навантаження в середньому перерізі балки SDR30(Prst) з попередньо напруженим комбінованим армуванням з межами відхилень від -10% до +10% (3) від встановленого теоретичного значення згинального моменту

Було встановлено максимальну несучу здатність, що витримав нормальний поперечний переріз попередньо напруженої комбіновано

армованої балки з цільної деревини SBR30(Prst) і вона склала $M_{\max, SBR30} = 33,55 \text{кН} / \text{м}$. Несуча здатність балки SBR45 за граничними станами першої групи була дещо нижчою та становила $M_{\max, SBR45} = 27,95 \text{кН} / \text{м}$.

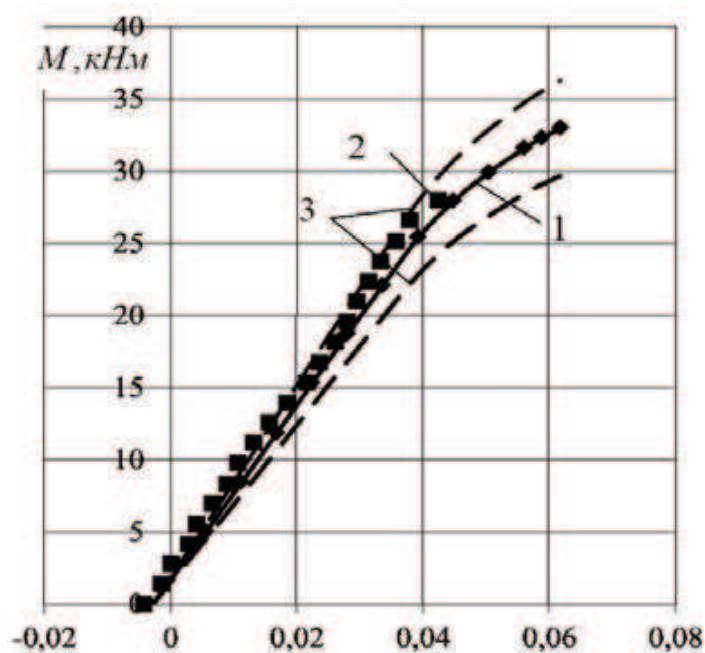


Рис.4. Теоретичні (1) та експериментальні значення (2) кривини в залежності від прикладеного навантаження в середньому перерізі попередньо напруженої комбіновано армованої балки SBR45(Prst) (3 – межі розподілу експериментальних значень $\pm 10\%$)

Руйнування балки з цільної деревини SBR30(Prst) за рахунок сколювання частини деревини разом з арматурою.

Руйнування другої балки проходило шляхом сколювання деревини вздовж волокон. Це вказує на те, що вплив дотичних напружень в попередньо напружених комбіновано армованих балках з цільної деревини є надзвичайно великим і тому, необхідно в подальшому розробити методику та встановлювати підсилення похилих перерізів таких елементів.

Максимальне значення кривини для попередньо напруженої комбіновано армованої балки SBR30(Prst) склало $\xi_{SBR30, \max} = 0,0647 \text{м}^{-1}$, а це значення для попередньо напруженої комбіновано армованої балки SBR45(Prst) становило $\xi_{SBR45, \max} = 0,0425 \text{м}^{-1}$.

Проведений статистичний аналіз збіжності теоретичних та експериментальних даних кривини в залежності від прикладеного навантаження в розрахунковому найбільш напруженому поперечному перерізі попередньо напруженої комбіновано армованої балки SBR30(Prst) проведений методом різниці найменших квадратів приведений в табл.5.6

показав середнє значення відхилень в 7,19% з середнім квадратичним відхиленням $sd = 0,889 \cdot 10^{-3} \cdot m^{-1}$.

Менше значення кривини комбіновано армованої балки SBR45(Prst) в граничному стані пов'язана з характером руйнування балок. Якщо ж порівняти з максимальними теоретичними значеннями кривини в граничному стані, то для балки SBR30(Prst) максимальна кривина $\xi_{SBR30, \max, t} = 0,0617 m^{-1}$, що на 4,6% менше від експериментальної.

Кривину, яка визначена за максимального навантаження попередньо напруженої комбіновано армованої балки SBR45(Prst), що встановлена експериментально в порівнянні з теоретично кривою, що визначалася при тому ж значенні зовнішнього навантаження $\xi_{SBR45, \max, t} = 0,0446 m^{-1}$, було більшим на 4,9% від експериментальної кривини. З рис. 4 видно, що відхилення експериментальних результатів від теоретичних складає не більше $\pm 10\%$, а це вказує на хорошу збіжність даної методики моделювання роботи деревини.

Повні діаграми «момент-кривина» за весь період роботи від створення попереднього напруження у вигляді вигину і до руйнування попередньо напружених комбіновано армованих балок з цільної деревини SBR30(Prst) та SBR45(Prst) представлено на рис.5.

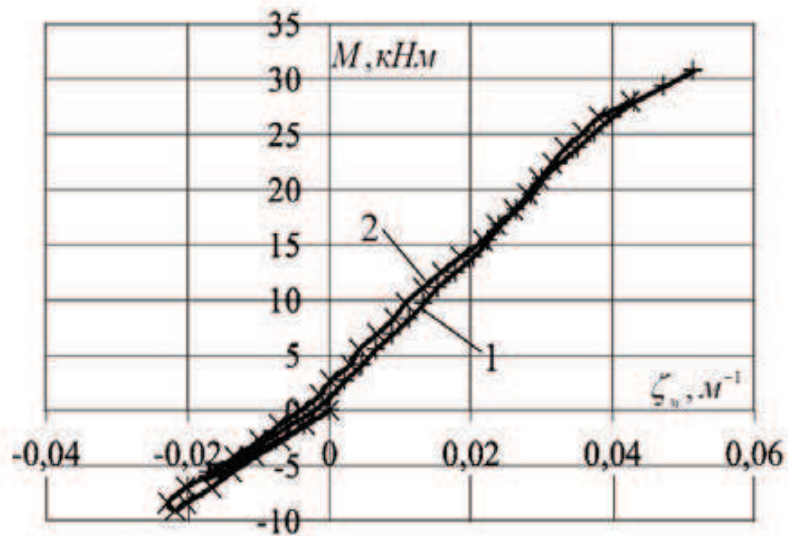


Рис.5. Повні діаграми «момент-кривина» для попередньо напружених комбіновано армованих балок з цільної деревини SBR30(Prst) (1) та SBR45(Prst) (2) за весь період роботи

В базі отриманих діаграм можна зробити висновок, що збільшення рівня попереднього напруження комбіновано армованої балки з цільної деревини позитивно впливає на її роботу, зменшуючи кривину її нейтральної лінії, а цим самим підвищує несучу здатність елемента за другою групою граничних станів.

Так як, від кривини нейтральної лінії згинального елемента залежить прогин, то внаслідок попереднього напруження можемо спостерігати зменшення його на початковому етапі роботи балок з цільної деревини SBR30(Prst) та SBR45(Prst), а отже збільшення несучої здатності згинальних елементів за другою групою граничних станів.

Для підтвердження запропонованої методики моделювання проведемо порівняльний аналіз експериментальних даних, які отримані шляхом вимірювання зростання прогинів балок в залежності від зростання навантаження з отриманими шляхом розрахунків теоретичними даними на базі діаграм «момент-прогин».

Теоретично змодельована діаграма «момент-прогин» роботи попередньо напруженої комбіновано армованої балки з цільної деревини SBR30(Prst) при сприйнятті зовнішнього навантаження з нанесенням експериментальних значень показана на рис.6.

В результаті випробування був встановлений максимальний прогин для досліджуваної комбіновано армованої попередньо-напруженої балки SBR30(Prst). Дане значення в передруйнівному стані балки досягло рівня $f_{\max,SRB30} = 41,12\text{мм}$. За змодельованими теоретичними розрахунками максимальний прогин мав бути $f_{\max,SRB30,t} = 43,43\text{мм}$.

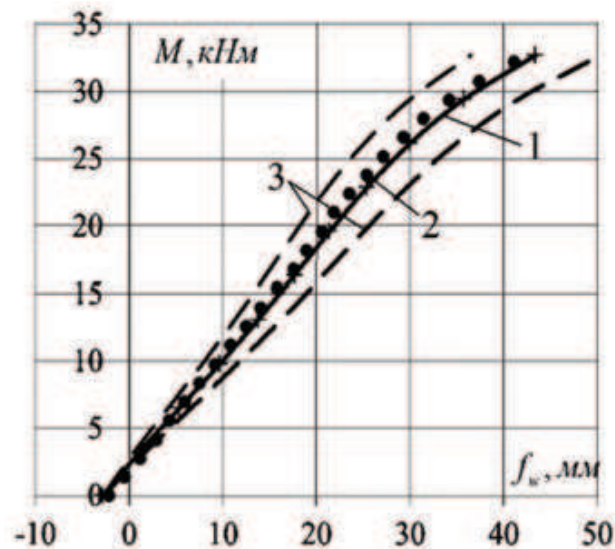


Рис.6. Теоретичні (1) та експериментальні значення (2) прогинів в залежності від згинального моменту, що діє в середині балки SBR30(Prst) (3 – межі розподілу експериментальних значень в $\pm 15\%$ від теоретичних значень)

Проведемо також аналіз розвитку прогинів за зростання навантаження для попередньо напруженої комбіновано армованої балки з цільної деревини SBR45(Prst), що попередньо навантажувалась до 0,45 від максимальної несучої здатності дерев'яної балки з цільної деревини без армування, діаграми яких показано на рис.7.

Проте максимальне значення прогину, для балки з цільної деревини з попередньо напруженим комбінованим армуванням SBR45(Prst) встановлене через руйнування її сколюванням від дії дотичних напружень, що виникли в

балці від дії зовнішніх навантажень. Проте можна провести порівняння максимальних граничних моментів за другою групою граничних станів, за яких виникають граничні прогини, що для даних балок з розрахунковим прольотом в 270см складає $f_{fin} = 18\text{мм}$.

Діаграми зростання прогинів від зростання моментів для балок з цільної деревини неармованої – SB, з цільної деревини пасивно комбіновано армованої – SBR, попередньо напруженої комбіновано армованої з цільної деревини - SBR30(Prst) та попередньо напруженої комбіновано армованої з цільної деревини - SBR45(Prst) наведені на рис.8.

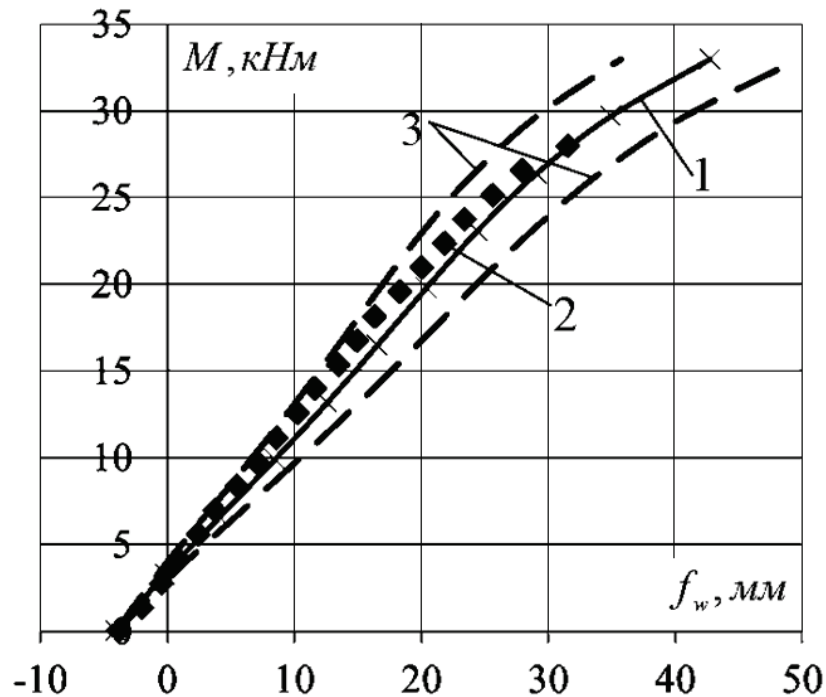


Рис. 7. Відхилення експериментальних значень прогинів, що виникли при роботі попередньо напруженої комбіновано армованої балки з цільної деревини SBR45(Prst) (2) від кривої (1) теоретичних значень обробленої за пропозиціями автора зі заданим розподілом $\pm 15\%$ (3)

В результаті дослідження було встановлено, що граничний момент за другою групою граничного стану, який визначається за граничного прогину елемента в досліджуваній балці з цільної деревини збільшується з додаванням армування в стиснуту та розтягнуту зону. Також було встановлено, що створення попереднього напруження в композитній арматурі розтягнутої зони також збільшує граничний момент для граничних прогинів балки. Зі збільшенням попереднього вигину, що виникає за збільшення попереднього напруження, також ще збільшує граничний момент по другій групі граничних станів. Ефект від збільшення попереднього напруження є значним, але не можна перевищувати при спробі створення попереднього напруження у вуглецевій стрічці Sika CarboDur S-512 експлуатаційних рівнів роботи згинального елемента з цільної деревини без армування.

Порівняння основних результатів лабораторних експериментальних випробувань неармованих, пасивно комбіновано армованих та попередньо напружених комбіновано армованих балок з цільної деревини за граничними прогинами занесені до табл. 1.

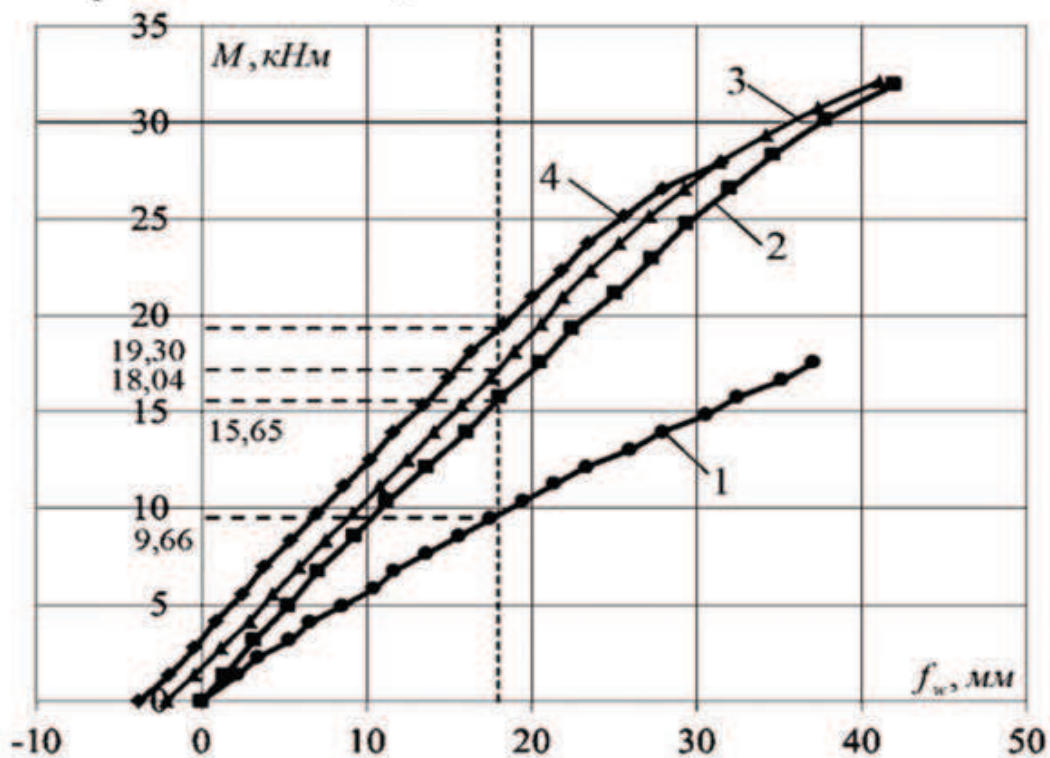


Рис. 8. Діаграми зростання прогинів від зростання моментів для балок з цільної деревини з графічним встановленням граничного прогину для: 1 – SB; 2 – SBR; 3 – SBR30(Prst); 4 – SBR45(Prst)

Таблиця 1

Зростання несучої здатності балок з цільної деревини за другою групою граничних станів внаслідок різних видів армування

№ п/п	Позначення	Армування	К-сть зразків	Граничний момент, (кНм)	Відсоток зростання, %
1	SB	неармована	1	9,66	-
2	SBR	2Ø12 A500C + Sika CarboDur S-512 5см	1	15,65	62
3	SBR30(Prst)	2Ø12 A500C + Sika CarboDur S-512 5см (Рівень попереднього напруження 0,3)	1	18,04	86
	SBR45(Prst)	2Ø12 A500C + Sika CarboDur S-512 5см (Рівень попереднього напруження 0,45)	1	19,03	97

Пасивне комбіноване армування в стиснутій зоні двома стержнями сталеві арматури діаметром 12мм класу А500С та полімерною композитною вуглецевою стрічкою Sika CarboDur S-512 балок з цільної деревини збільшило несучу здатність за другою групою граничних станів в 1,62 рази.

Попереднє напруження композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 комбіновано армованих балок з цільної деревини збільшує несучу здатність за другою групою граничних станів в залежності від рівня вигину 1,86 – 1,97 рази.

Руйнування балок з цільної деревини SBR30(Prst) з попередньо напруженим комбінованим армуванням 2Ø12 А500С + Sika CarboDur S-512 проходило за рахунок сколювання деревини вздовж елемента по площині поблизу нейтральної лінії (рис.9 та рис.10).



Рис. 9. Руйнування балки з цільної деревини SBR30(Prst) за рахунок сколювання частини деревини разом з арматурою



Рис. 10. Руйнування балки з цільної деревини SBR45(Prst) за рахунок сколювання деревини по площині вздовж елемента поблизу нейтральної лінії

Висновки. 1. Проведено експериментальні дослідження згинальних дерев'яних елементів з цільної деревини з армуванням та без армування, з

попереднім напруженням та без попереднього напруження. Шляхом аналізу отриманих експериментальних даних досліджень згинальних дерев'яних елементів з комбінованим армуванням було встановлено вплив пасивного та попередньо напруженого армування. Визначено, що несуча здатність за другою групою граничних станів згинальних дерев'яних елементів зростає при їх армуванні. Для попередньо напружених балок несуча здатність за другою групою граничних станів збільшується SBR30(Prst) – 86%, SBR45(Prst) – 97% в порівнянні з простими балками без армування, а в порівнянні з армованою балкою попереднє напруження збільшує несучу здатність за другою групою SBR30(Prst) – 19%, SBR45(Prst) – 28%. Можна зробити висновок, що армування та попереднє напруження збільшує несучу здатність за другою групою граничних станів.

2. Руйнування балок з клеєної деревини з пасивним комбінованим армуванням та попередньо напруженим комбінованим армуванням проходить за рахунок сколювання деревини елемента вздовж волокон, при цьому у більшості випадків це відбувається біля нейтральної лінії.

3. Удосконалено спосіб верифікації методик моделювання методик моделювання роботи армованих дерев'яних згинальних елементів шляхом співставлення отриманих даних на основі експериментальних та теоретичних досліджень з використанням діаграм «момент-кривина».

4. Проведена верифікація методик моделювання роботи армованих дерев'яних конструкцій на основі статистичного порівняння отриманих експериментальних даних з теоретичними. Порівняння експериментальних та теоретичних даних проводилось шляхом порівняння отриманих діаграм «момент-кривина» та «момент-прогин». Проведено статистичний аналіз збіжності експериментальних та теоретичних даних. Встановлено, достатньо висока збіжність діаграм в середньому в межах 10%. Спосіб верифікації за допомогою діаграм «момент-кривина» дозволив порівняти теоретичні та експериментальні дані під час виготовлення та роботи згинальних дерев'яних елементів з різним видом армування та попереднім напруженням.

1. Gomon, S.S., Gomon, P., Homon, S., Polishchuk M., Dovbenko, T., Kulakovskiy, L. Improving the strength of bending elements of glued wood. *Procedia Structural Integrity*, 2022, 36, 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.027>.

2. Башинський О. І., Боднарчук Т.Б., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. Львів, 2014. №9. С. 184-189.

Bashyns'kyu O. I., Bodnarchuk T.B., Peleshko M.Z. Nesucha zdatnist' ta vohnestiykist' derev' yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. *Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti*. 2014. №9. С. 184-189.

3. Демчина Б. Г., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок армованих неметалевою арматурою. Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель і споруд: *Вісник ДонНАБА*. Вип. 5 (85). Т. II. Макіївка: ДонНАБА, 2010. С. 193-197.

Demchyna B. H., Surmay M.I., Kravz A.R., Blyakhar T.Y. Dosvid vyhotovlennya doshchatokleyenykh balok armovanykh nemetalevoyu armaturoyu. Suchasni budivel'ni materialy, konstruktsiyi ta innovatsiyi tekhnolohiyi zvedennya budivel' i sporud: Visnyk DonNABA. Vyp. 5 (85). T. II. Makiyivka: DonNABA, 2010. s. 193-197.

4. Єрмоленко Д.А., Іщенко М.С. Міцність та деформативність клеєних дерев'яних балок, армованих полімерною сіткою. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Полтава: ПНТУ, 2017. Т. 2 (47). С. 140-147.

Yermolenko D.A., Ishchenko M.S. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleyenykh derev' yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.

5. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Нац. ун-т "Львівська політехніка". 2015. 185 с.

Surmay M. I. Mitsnist' ta deformatyvnist' doshchatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazal'tovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Nats. un-t "L'vivs'ka politekhnik". 2015. 185 s.

6. Alann André, Robert Kliger. STRENGTHENING OF TIMBER BEAMS USING FRP, WITH EMPHASIS ON COMPRESSION STRENGTH: A STATE OF THE ART REVIEW. APFIS 2009.

7. 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.

Homon P.S. Napruzhenno-deformovanyi stan balok iz derevyny z kombinovanim armuvanniam na riznykh rivniakh zavantazhen. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Lutsk: LNTU, 2022. Vypusk 17. S. 23-30.

8. Гомон П.С. Визначення напружено-деформованого стану згинальних дерев'яних елементів підсилених композитними та металевими матеріалами. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 42. С. 99-106.

Homon P.S. Vyznachennia napruzhenno-deformovanoho stanu zghynalnykh derevianykh elementiv pidsylenykh kompozytnymu ta metalevymu materialamy. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2022. Vyp. 42. S. 99-106.

9. Гомон П.С., Олексін І.О. Визначення дотичних напружень в дерев'яних балках з врахуванням нелінійності деформування матеріалу. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 41. С. 126-134.

Homon P.S., Oleksin I.O. Vyznachennia dotychnykh napruzhen v derevianykh balkakh z vrakhuvanniam neliniinosti deformuvannia materialu. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2022. Vyp. 41. S. 126-134.

10. Гомон П.С. Моделювання роботи дерев'яної балки з послідовним завантаженням. Містобудування та територіальне планування. Київ: КНУБА, 2022. №80. С. 159-165.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty derevianoї balky z poslidoვნym zavantazhenniam. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Kyiv: KNUBA, 2022. №80. S. 159-165.

11. Гомон П.С. Моделювання роботи поперечних перерізів дерев'яних елементів за різних варіантів та відсотків армування. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ: КНУБА, 2022. Випуск 64. С. 334-342.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty poperechnykh pereriziv derevianykh elementiv za riznykh variantiv ta vidsoktiv armuvannia. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. Kyiv: KNUBA, 2022. Vypusk 64. S. 334-342.

12. Гомон П.С. Моделювання роботи підсиленого попередньо напруженого згинального дерев'яного елемента. Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини. Одеса: ОДАБА, 2023. Випуск №27. С. 59-66.

Homon P.S. Modeliuvannia roboty pidsylenoho poperedno napruzenoho zghynalnoho derevianoho elementu. Suchasni budivelni konstruktsii z metalu ta derevyny. Odesa: ODABA, 2023. Vypusk №27. S. 59-66.

13. Gomon P., Gomon S., Pavluk A., Homon S., Chapiuk O., Melnyk Yu. (2023). Innovative method for calculating deflections of wooden beams based on the moment-curvature graph. *Procedia Structural Integrity* 48, Pp. 195-200.

<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.148>

14. Homon, S., Litnitsky, S., Gomon, P., Kulakovskiy, L., & Kutsyna, I. (2023). Methods for determining the critical deformations of wood with various moisture content. *Scientific Horizons*, 26(1), 73-86. [https://doi.org/10.48077/scihor.26\(1\).2023.73-86](https://doi.org/10.48077/scihor.26(1).2023.73-86).

15. Гомон С.С., Ясній П.В., Гомон П.С., Ясній В.П. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьвим стиском вздовж волокон: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2023. 316 с.

Homon S.S., Yasniy P.V., Gomon P.S., Yasniy V.P. Klasychna model' diysnoyi roboty sutsil'noyi ta modyfikovanoyi derevynyos'vym styskom vzdovzh volokon: monohrafiya. Rivne: Volyns'ki oberehy, 2023. 316 s.

16. Гомон П.С. Визначення прогинів дерев'яних згинальних елементів з урахуванням нелінійності деформування деревини. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». Рівне: НУВГП, 2022. Випуск 2(98). С. 183-192.

Homon P.S. Vyznachennia prohyniv derevianykh zghynalnykh elementiv z urakhuvanniam neliniinosti deformuvannia derevyny. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Tekhnichni nauky». Rivne: NUVHP, 2022. Vypusk 2(98). S. 183-192.