

DOI: 10.32347/2076-815x.2022.79.77-86

УДК 624.011

к.т.н., доцент **Гомон П.С.**,
p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5312-0351, h-index:1,
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне,

ІННОВАЦІЙНИЙ СПОСІБ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ КОМБІНОВАНО АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК

Описано існуючі способи попереднього натягування сталюї арматури чи композитної смуги за допомогою спеціальних пристроїв при створенні попередньо напружених дерев'яних елементів і конструкцій. Розроблено послідовність попереднього натягування сталюї арматури чи композитної смуги без спеціальних пристроїв. Наведено приклад виконання попереднього натягування композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 на деревину розтягнутої зони балки без спеціальних пристроїв. Показано один із способів анкерування композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512.

Ключові слова: деревина; дерев'яний елемент; комбіноване армування; попереднє напруження; несуча здатність.

Постановка проблеми. Перший відомий спосіб у попередньому натягуванні сталюї арматури чи композитної смуги за допомогою спеціального пристрою при створенні попередньо напружених дерев'яних конструкцій. Під час процесу смужка чи арматура була механічно закріплена на одному кінці балки. Після натягування та приклеювання до поверхні деревини стрічка механічно прикріплюється до іншого кінця.

На початку 1990-х років Т.С. Triantafillou та N. Deskovic [1] експериментально та аналітично позитивно оцінили надання таким чином попереднього напруження. Також було запропоновано новий засіб для закріплення вуглеволокнистих смуг CFRP при натягуванні на деревину. Результати проведених експериментів показують збільшення несучої здатності та зменшення прогину попередньо напружених елементів в порівнянні з неармованими і пасивно армованими балками. В роботі Z.W. Guan та ін. [2] довели, що реалізована за такою технологією використання скловолокнистого листа для попереднього напруження клеєних балок також є ефективним. Н. Yang та ін. [3] балки з клеєної деревини посилили попередньо напруженими композитними вуглеволокнистими стержнями CFRP $\phi 16$ мм (коефіцієнт армування 0,89%), розміщеними в поздовжніх пазах у зоні натягу та закріпленими на кінцях гайками. Автори отримали збільшення несучої

здатності в порівнянні з контрольними не армованими на 93% і також збільшення жорсткості на 33%.

Відомим варіантом способу напруження стержневої арматури в розтягнутій зоні при виготовленні попередньо напружених балок із клеєної деревини, що може бути застосований для попереднього напруження арматури клеєних дерев'яних балок, є спосіб з використанням спеціального цангово-затискного механізму (ЦЗМ-1), який забезпечує утримання кінців арматури у торцях балки та дозволяє виконати попереднє напруження розтягу металевої та неметалевої стержневої арматури [4, 5].

Проте такий спосіб потребує обов'язкового використання спеціальних дорогих механізмів та пристосувань для створення попереднього напруження арматури та потребує великих трудових затрат для виконання процесу створення натягу.

Другий спосіб можна описати як «ступінчасте попереднє напруження». Поступове перенесення зусилля попереднього напруження на балку робить кінцеве напруження зсуву нижчим і не потребує механічного кріплення. Смуга натягується спеціальним обладнанням, а потім наклеюється на поверхню балки. Використовуються два способи отримання ефекту ступінчастого попереднього напруження. У першому з них вводять натяг на всю довжину смуги, а потім смужку поетапно приклеюють, починаючи від середини бруса. При другому способі ділянки смуги як натягують, так і склеюють поступово по ступеням починаючи від середини балки, де сила розтягування є найбільшою.

Такий спосіб також потребує обов'язкового використання спеціальних дорогих механізмів та пристосувань для створення попереднього напруження арматури та потребує ще більших трудових затрат ніж перший для виконання процесу створення натягу.

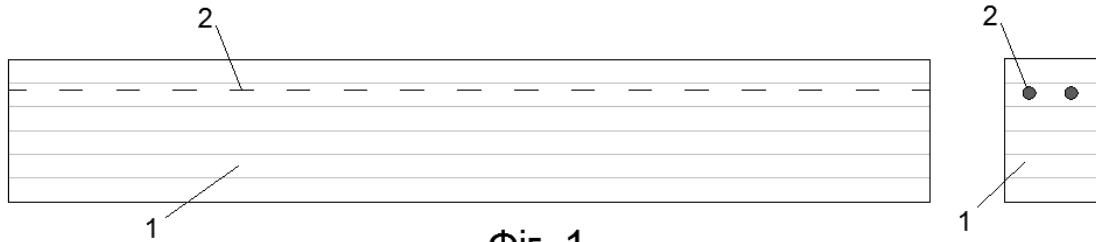
Постановка завдання. Розробити методику простого способу попереднього натягування композитної смуги чи іншого виду арматури без спеціальних пристроїв та додаткового обладнання для армування балок з деревини.

Викладення основного матеріалу. Спираючись на теорію внутрішньої граничної рівноваги, на якій базуються розрахунки за граничними станами, підсилення лише розтягнутої зони згинального елемента з деревини не є достатньо ефективним, бо найбільш слабкою є стиснута зона [6, 7]. Щоб запобігти передчасному утворенню складки в цій зоні необхідно обов'язково її підсилювати арматурою з більш вищим модулем пружності тобто сталеву арматурою.

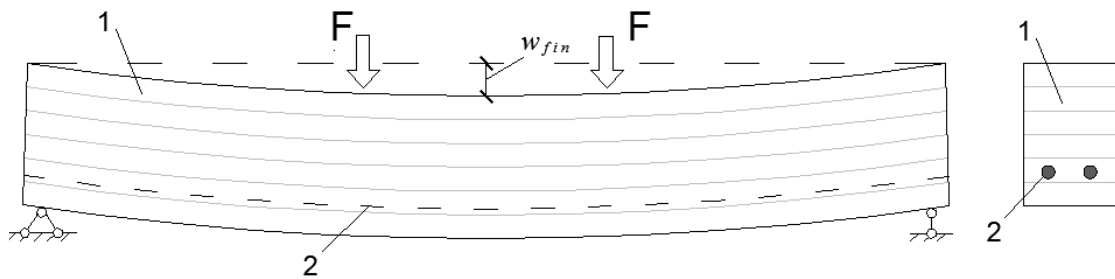
Відома конструкція армованої балки з клеєної деревини, що містить металеву арматуру у пазах стиснутої зони та розміщену ззовні розтягнутої зони

композитну попередньо напружену стрічкову арматуру. Така балка є аналогічною до запропонованої, проте без попереднього напруження арматури [8,9]. Недоліком даної конструкції балки з пасивним комбінованим армуванням є недостатня жорсткість.

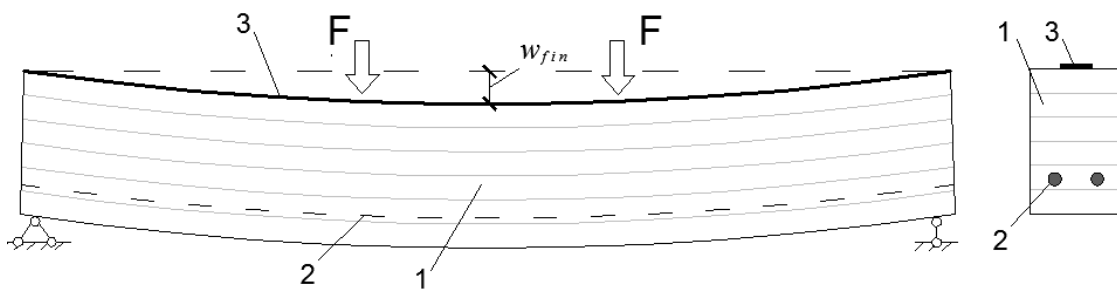
В новій моделі передбачено зменшити прогини клеєної армованої комбінованим армуванням балки шляхом попереднього напруження стрічкової арматури, що виконується у кілька простих етапів без використання додаткових спеціальних пристроїв та обладнання (рис. 1).



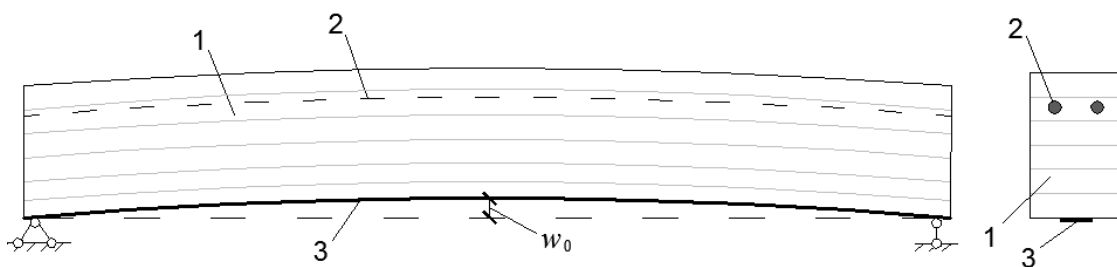
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Рис. 1. Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок із клеєної деревини попереднім вигином

Поставлена задача вирішується таким чином. Спочатку підвищується несуча здатність та жорсткість, як найбільш слабкої, стиснутої зони армуванням стержневою сталлюю арматурою. Перед приєднанням композитної стрічкової арматури ззовні розтягнутої зони балку перевертають на 180°. Елемент завантажують, і в такому положенні прикріплюють стрічкову арматуру (рис.1, рис.2, рис.3). На краях балки, для запобігання відриву під навантаженням, композитна стрічкова арматура Sika Carbo Dur S-512 потребує додаткового анкерування.



Рис. 2. Процес твердіння клею за приклеювання композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 до деревини балки

Достатнім анкеруванням є приклеювання поперек 2...3 шарів такої ж стрічки поверх повздовжньої на всю ширину балки (рис.4). Після затвердіння клею та зняття навантаження композитна стрічкова арматура Sika CarboDur S-512, деревина та металева арматура отримують попереднє напруження. Після цього отриманий елемент з комбінованим армуванням перевертають у робоче положення.

Очікуваний результат досягається завдяки тому, що саме під час розвантаження стрічкова арматура включається в роботу та не дозволяє повернутись напруженим шарам балки у своє початкове положення і таким чином отримує попереднє напруження, а також вигин w_0 при повному знятті навантаження. Внаслідок вигину, а згодом напруження композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512, деревина розтягнутої зони балки зазнає стиску,

а деревина стиснутої зони та металева стержнева арматура стають розтягнутими.



Рис. 3. Розташування композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 під опорами, що надають вигин балці



Рис. 4. Спосіб анкерування повздовжньої попередньо напруженої композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 на краях елемента

На кресленні (рис.1) показана схема, згідно з якою виконується попереднє напруження зовнішньої арматури у вигляді композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512.

На фіг. 1 (рис.1) показана дерев'яна балка перед попереднім напруженням, що складається із клеєного пакету дощок 1 та містить уже вклеєну сталеву стержневу арматуру 2 у стиснутій зоні для надання додаткової жорсткості. На фіг. 2 (рис.1) даний елемент перевернутий на 180° , який встановлений на дві опори та завантажений певним зусиллям (F), величина якого викликає граничний прогин w_{fin} .

На фіг. 3 (рис.1) при тому ж завантаженні й прогині ззовні розтягнутої зони балки закріплена стрічкова арматура 3. На фіг. 4 (рис.1) показана балка перевернута назад на 180° після застигання клейової суміші й розвантаження.

На рис. 2 та рис. 3 показано процес твердіння клею при приклеюванні композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 до деревини майбутньої стиснутої зони балки.

В подальшому, при завантаженні, напруження розтягу у стрічці збільшується, а в деревині розтягнутої зони спочатку погашаються напруження стиску, а лише потім розвиваються напруження розтягу. У стиснутій зоні навпаки спочатку погашаються напруження розтягу, а тоді деревина і металева арматура починають працювати за напружень стиску різної інтенсивності.

Отже, спосіб попереднього напруження реалізується наступним чином. Підготовлена балка із клеєної деревини 1, що уже містить у пазах стиснутої зони влаштовану сталеву стержневу арматуру 2 перевертається на 180° та встановлюється на опорах, потім завантажується зусиллям до певного значення, яке викликає допустимий граничний прогин w_{fin} (рис. 5) для даної конструкції.

Завантаження можливо надати звичайним механічним чи гідравлічним домкратом та проконтролювати динамометром. У такому положенні зверху балки за допомогою клейової суміші закріплюється стрічкова арматура 3. При цьому механізм завантаження повинен дозволяти розміщення й закріплення стрічки зверху балки по всій її довжині. У якості зовнішньої стрічкової арматури може бути використана, наприклад, композитна стрічка із вуглеволокна фірми Sika CarboDur. Після повного застигання клейової суміші балка розвантажується, стрічкова арматура, при цьому, включається в роботу, й таким чином, отримує попереднє напруження. Конструкція знову перевертається на 180° . У даному положенні й буде проходити подальша експлуатація дерев'яної армованої балки.

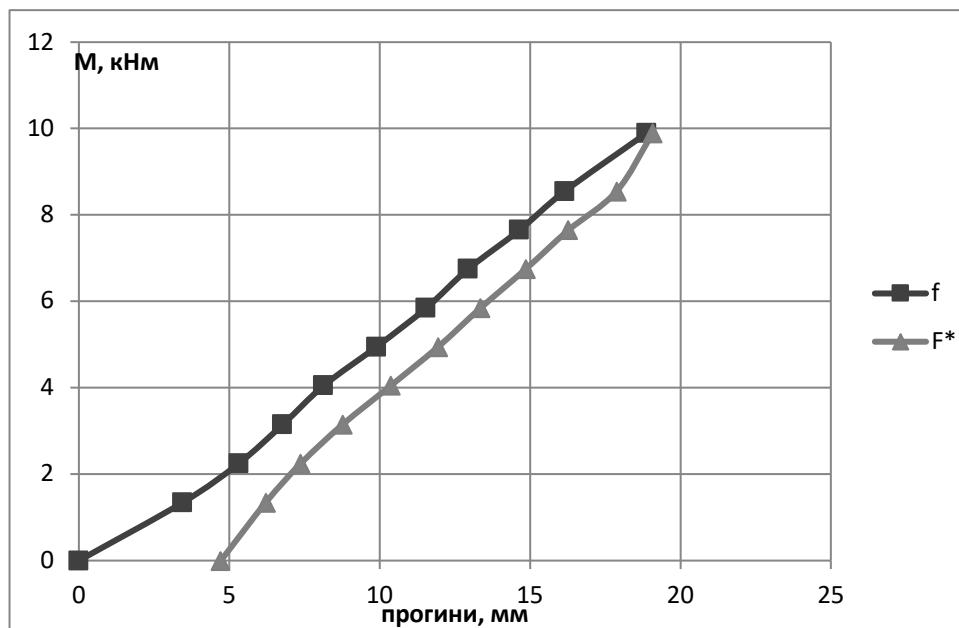


Рис. 5. Діаграми зростання прогину за режимів завантаження F та розвантаження F^* при наданні попереднього напруження

Коли така конструкція введена в експлуатацію, то при завантаженні спочатку буде погашено її початковий вигин w_0 , викликаний попереднім напруженням, і лише після цього вона почне прогинатися. Таким чином одне й те ж значення прогину буде досягнуто при вищих рівнях навантаження, ніж без попереднього напруження.

Перевагою даного способу є його простота, адже не потрібно застосовувати додаткових пристроїв чи обладнання для напруження арматури. Крім того, за рахунок попереднього напруження арматури таким способом досягається зменшення прогинів порівняно з конструкцією за прототипом до 30 %.

Висновки. 1. Розроблено послідовність попереднього натягування сталюї арматури чи композитної смуги із вуглеволокна фірми Sika CarboDur без спеціальних пристроїв.

2. Для суттєвого підвищення жорсткості елементів з деревини, що працюють на згин необхідно:

а) підсилити стиснуту зону армуванням доступною арматурою з найвищим модулем пружності, тобто сталевую;

б) створити будівельний вигин за рахунок попереднього напруження композитної стрічки із вуглеволокна фірми Sika CarboDur.

3. Наведено приклад виконання попереднього натягування композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512 на деревину розтягнутої зони балки без спеціальних пристроїв.

4. Показано один із способів анкерування композитної стрічкової арматури Sika CarboDur S-512.

Список використаних джерел

1. T.C. Triantafillou, N. Deskovic. Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members. *J Struct Eng*, 118 (5) 1992. Pp. 70-1284.
2. Z.W. Guan, P.D. Rodd, D.J. Pope. Study of glulam beams pre-stressed with pultruded GRP. *Compos Struct*, 83 (28-30) (2005), pp. 2476-2487.
3. H. Yang, D. Ju, W. Liu, W. Lu. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. *Constr Build Mater*, 109 (2016), pp. 73-83.4.
4. 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.
5. Сурмай М.І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2015. 185 с.
6. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП. Випуск 21. С. 176-180.
7. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., 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).
8. Sobczak-Piąstka J., Gomon S.S., Polishchuk M., Gomon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. *Buildings* 2020, 10, 92.
9. Патент на корисну модель № 135229 Україна, МПК E04C 3/12 (2006.01). Клеєна дерев'яна балка / Гомон С.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування, Гомон С.С., Поліщук М.В. -№ и 201900104; заяв. 03.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. №12.

к.т.н., доцент **Гомон П.С.**,
Національний університет водного господарства
и природопользования, г. Ровно

**ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ
КОМБИНИРОВАННО АРМОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК**

Описаны существующие способы предварительного натяжения стальной арматуры или композитной полосы с помощью специальных приспособлений при создании предварительно напряженных деревянных элементов и конструкций. Разработана последовательность предварительного натяжения

стальной арматуры или композитной полосы без специальных устройств. Приведен пример выполнения предварительной натяжки композитной ленточной арматуры Sika CarboDur S-512 на древесину растянутой зоны балки без специальных устройств. Показан один из способов анкерирования композитной ленточной арматуры Sika CarboDur S-512.

Ключевые слова: дерево; деревянный элемент; комбинированное армирование; предварительное напряжение; несущая способность.

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

INNOVATIVE METHOD FOR FORWARD STRESSING OF COMBINED REINFORCEMENT OF WOODEN BEAMS

The article describes the basic methods of front tensioning of steel reinforcement and composite smuga behind the help of special outbuildings when folding forward stressed wooden elements and structures.

For the essential advancement of the hardness of the elements from the village, which is necessary to apply to the core: increase the strength of the squeezed zone of reinforcement with accessible reinforcement with the highest modulus of springiness, that is, steel; create a buoyant wig for the front tension of the composite stitching made of carbon fiber by Sika CarboDur.

The sequence of front tensioning of steel reinforcement and composite smuga without special attachments is broken down. In the new model, it was changed to change the bending of the glued-reinforced combination to the reinforcement of the beam with a track of the front tension of the string reinforcement, which is used in the splice of simple steps without the addition of additional special outbuildings. The buttstock of the front tensioning of the composite reinforcement Sika CarboDur S-512 was placed on the wood of the stretched zone of the beam without special attachments. Shown is one of the methods of anchoring the composite strichkovo reinforcement Sika CarboDur S-512.

If such a design is put into operation, then when the cob is occupied, ii cobs will be extinguished, the forward stresses will be called out, and the last thing will be more likely to bend. In this way, one and the same value of the deflection will be reached with greater equalization of tension, lower without forward tension.

The advantage of this method is its simplicity, even if it is not necessary to adjuncts for tensile reinforcement. In addition, for the front tension of the reinforcement in this way, a change in the bending of the gap with the design behind the prototype is up to 30%.

Keywords: wood; wooden element; combined reinforcement; prestressing; bearing capacity.

REFERENCES

1. T.C. Triantafillou, N. Deskovic. Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members. *J Struct Eng*, 118 (5) (1992), pp. 1270-1284. {In English}.
2. Z.W. Guan, P.D. Rodd, D.J. Pope. Study of glulam beams pre-stressed with pultruded GRP. *Compos Struct*, 83 (28-30) (2005), pp. 2476-2487. {In English}.
3. H. Yang, D. Ju, W. Liu, W. Lu. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. *Constr Build Mater*, 109 (2016), pp. 73-83.4. {In English}.
4. Demchyna B.H., Oleksyn H.M., Surmay M.I. Poperedno napruzheni derevyani konstruktsiyi z nemetalevoyu armaturoyu // *Visnyk NULP: Teoriya i praktyka budivnytstva*. - №737, t. I. – Lviv, NULP, 2012. – S. 87-92. {In Ukrainian}.
5. Surmay M.I. Mitsnist ta deformatyvnist doshatokleyenykh balok armovanykh skloplastykovoyu ta bazaltovoyu armaturoyu: dys. kand. tekhn. nauk: 05.23.01. Lviv, 2015. 185s. {In Ukrainian}.
6. Gomon S.S. Stadiyi napruzhenno-deformovanoho stanu normalnykh pereriziv roboty derevyny na z·hyn. *Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy*. Zbirnyk naukovykh prats. Rivne, 2011. Vypusk 21. S. 176-180. {In Ukrainian}.
7. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., 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). {In English}.
8. 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, 92. {In English}.
9. Patent na korysnu model № 135229 Ukraina, MPK E04S 3/12 (2006.01). Kleiena dereviana balka / Homon S.S., Polishchuk M.V.; zaiavnyky i vlasnyky Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, Gomon S.S., Polishchuk M.V. -№ u 201900104; zaiav. 03.01.2019; opubl. 25.06.2019, Biul. №12. {In Ukrainian}.