

УДК 624.011

doi:10.31650/2707-3068-2023-27-59-66

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІДСИЛЕНОГО ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОГО ЗГИНАЛЬНОГО ДЕРЕВ'ЯНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Гомон П.С., к.т.н., доцент

p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2080-5650

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

Анотація. Описано спосіб попереднього напруження шляхом вклеювання армуючих елементів в дерев'яну балку. Встановлено раціональну послідовність виконання попереднього напруження. Змодельовано та спрогнозовано роботу дерев'яної балки за попереднього напруження та отримані теоретичні графіки «момент-кривина» для найнебезпечнішого перерізу в середині прольоту.

Ключові слова: деревина, кривина, несуча здатність, армування, попереднє напруження, композитна арматура.

Постановка проблеми. Беззаперечним недоліком деревини при використанні в будівництві є її надмірна гнучкість [1]. Одним з способів підвищення жорсткості елементів з деревини є використання попереднього напруження та армування більш жорсткими елементами. Сам процес виготовлення попередньо-напружених згинальних елементів запропонований нами є досить простий. З іншого боку визначення необхідних зусиль, необхідного вигину балки, щоб забезпечити надійну роботу, запобігання руйнуванню елементу в той же час є досить складним процесом та потребує додаткової уваги.

Аналіз останніх джерел досліджень та публікацій. Вивчення даної тематики займалися різні вчені. Зазвичай вивчалось додавання різного роду армування в дерев'яні та деревоклеєні згинальні елементи [2-11]. Однією з найцікавіших робіт є праця [7], в якій було запропоновано армування дерев'яних балок за допомогою різного виду арматури. При цьому вивчався її вплив на міцність та жорсткість. Авторами було відзначено позитивний вплив на жорсткість балки, збільшення зусилля, за якого настає граничний прогин. Також з врахуванням нового підходу до визначення напружено-деформованого стану з врахуванням пружно-пластичної роботи деревини [12, 13], було поставлено задачу вдосконалити роботу дерев'яних армованих згинальних елементів та теоретично змодельовати їх роботу.

Постановка цілей і завдань досліджень. Було поставлено задачу по збільшенню несучої здатності за граничними станами «другої» групи. А саме зменшення прогинів в згинальних елементах при тому ж моменті. Було уже відомо, що будь-яке армування більш жорсткими матеріалами в стиснутій та розтягнутій зоні суттєво збільшує жорсткість конструкцій. Одним із таких способів є попереднє напруження, яке є простим у виконанні. Саме один із способів попереднього напруження наведений в статті. Іншою не менш важливою задачею є описання передумов для визначення напружено-деформованого стану, в якому перебуває згинальний елемент на різних етапах завантаження.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо один з способів попереднього напруження, а саме спосіб, за яким балка отримує внутрішні напруження за рахунок відпуску згинального елемента після дії зовнішнього навантаження шляхом вклеювання армованих елементів [14]. Принцип такого напруження можна описати в такій послідовності:

1. Створюємо в згинальному елементі вигин, прикладаючи на елемент зовнішнє навантаження (Рис. 1). При цьому висота прогину елемента складатиме f_1 .

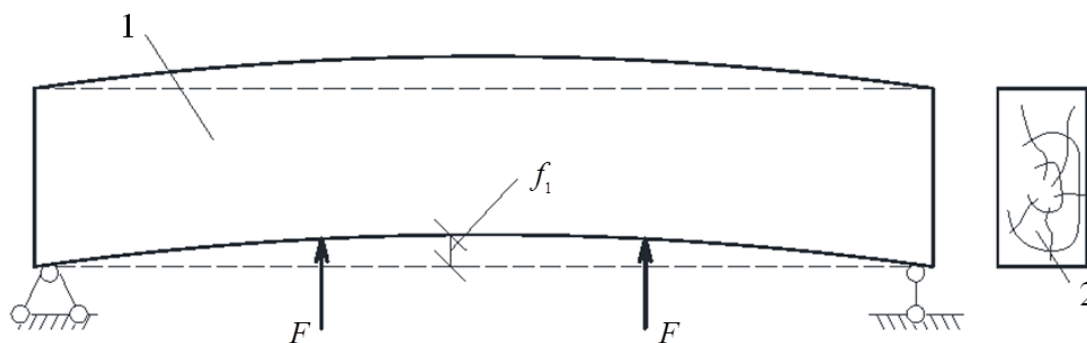


Рис. 1. Створення вигину згинального елемента для створення попереднього напруження (де 1 – згинальний дерев'яний елемент; 2 – поперечний переріз згинального дерев'яного елемента)

2. Армуємо нижню зону згинального елемента (Рис. 2). При цьому нам необхідно знати, при якому саме напружено-деформованому стані було встановлено армований елемент, щоб можливо спрогнозувати його роботу.

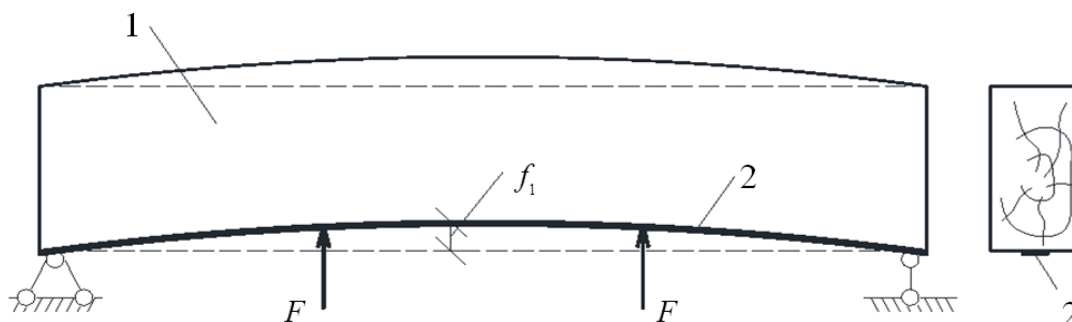


Рис. 2. Вклеювання армуючого елемента в розтягнуту зону згинального дерев'яного елемента (де 1 – згинальний дерев'яний елемент; 2 – армуючий матеріал)

3. Відпускаємо зусилля F , яким ми створювали вигин, в згинальному дерев'яному елементі, при цьому елемент хоче набути його початкової форми, проте цьому буде заважати арматура, яка буде сприймати частину навантаження та залишить невеликий вигин (Рис. 3). Саме в цьому положення потрібно буде армувати і протилежну зону згинального елемента.

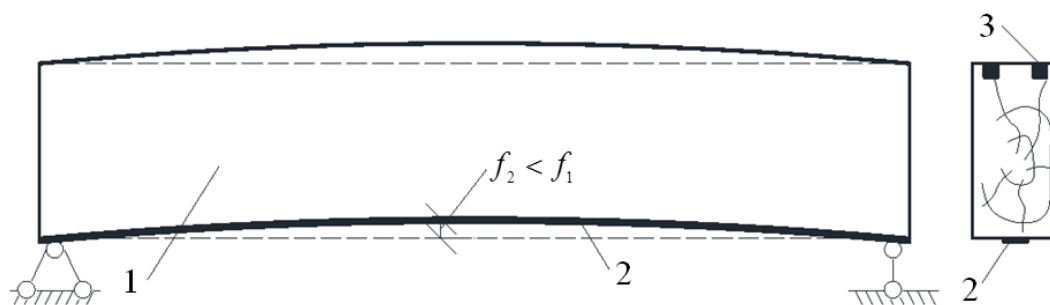


Рис. 3. Вклеювання арматури в стиснуту зону згинального дерев'яного елемента (де 1 – згинальний дерев'яний елемент; 2 – арматура розтягнутої зони; 3 – арматура стиснутої зони)

Рівень попереднього напруження, а саме кривини, яку набуває згинальний елемент після попереднього напруження залежить від початкової кривини дерев'яного елемента, а також від площі та фізико-механічних характеристик матеріалів, що армують зони балки.

Для визначення попереднього напруження встановимо напружено-деформовані стани згинального елемента, які виникають після вклеювання та відпуску зовнішнього зусилля. При цьому можна виділи 3 рівня напружено-деформованого стану (рис. 4).

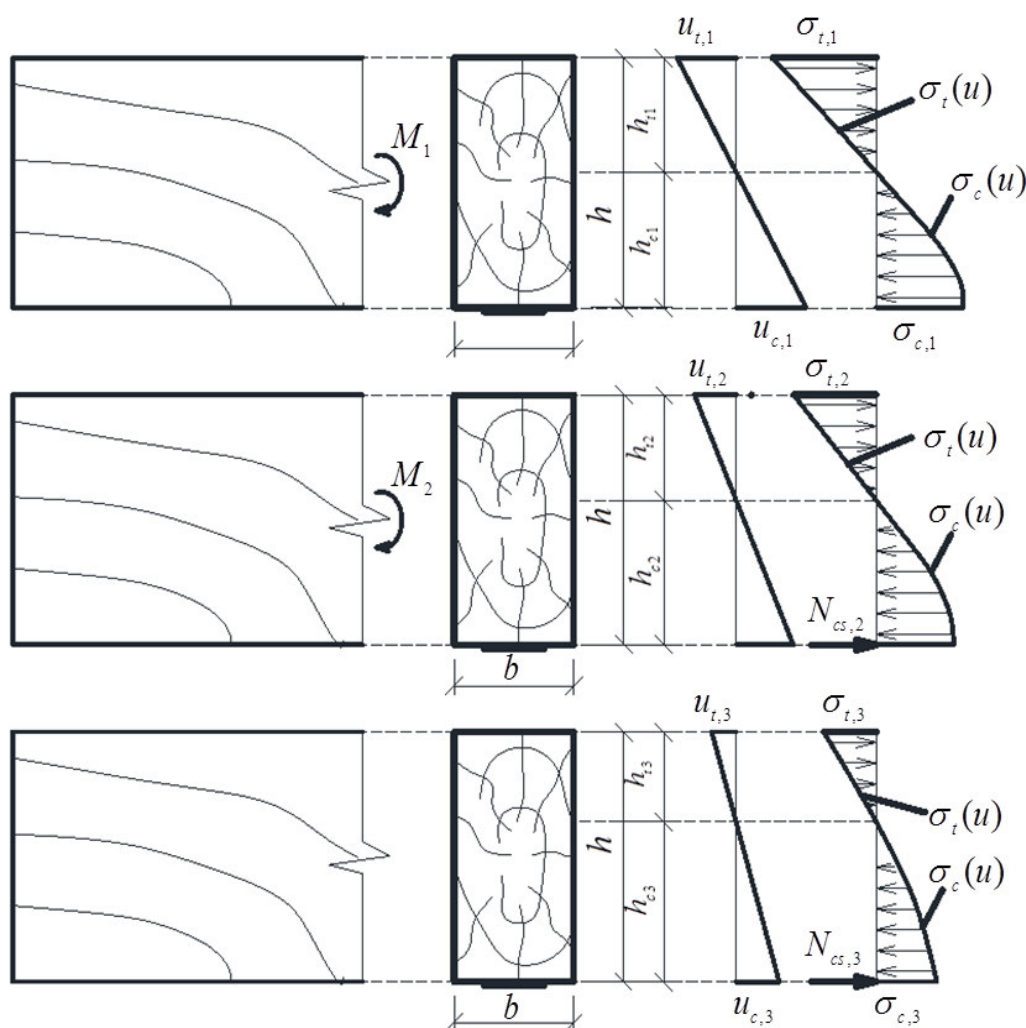


Рис. 4. Три стадії напружено-деформованого стану при попередньому напруженні згинального дерев'яного елемента

На всіх стадіях напружено-деформованого стану згинальний елемент знаходиться у від'ємній кривині. Нижня частина згинального елемента стиснута, а верхня розтягнута на всіх стадіях. На першій стадії стиснута зона складає більшу частину, ніж розтягнута, відносні деформації стиснутої нижньої зони куди має кріпитись матеріал, який армує балку, складають саме ці відносні деформації та є початковим стартом для роботи армованого елемента.

Рівняння рівноваги на першій стадії буде рівним (1)

$$\begin{cases} M_1 = M_{c,1} + M_{t,1}; \\ N_{c,1} = N_{t,1}, \end{cases} \quad (1)$$

де M_1 - момент від дії зовнішнього навантаження; $M_{c,1}$, $M_{t,1}$ - внутрішні моменти, що сприймають стиснута та розтягнута зони; $N_{c,1}$, $N_{t,1}$ - внутрішні зусилля, що сприймає стиснута та розтягнута зони.

На другій стадії при зменшенні згинального моменту від M_1 до моменту M_2 проходить внутрішній перерозподіл зусиль. Окрім моменту, що сприймає стиснута та розтягнута зони виникає момент і у розтягнутому армованому елементі, при цьому рівняння внутрішньої рівноваги буде змінено на (2), при цьому зміниться рівновага внутрішніх зусиль, що спроектована на вісь x з появою внутрішнього зусилля, що сприймає розтягнута арматура $N_{cs,1}$.

$$\begin{cases} M_2 = M_{c,2} + M_{t,2} - M_{sc,2}; \\ N_{t,2} + N_{sc,2} - N_{c,2} = 0; \end{cases} \quad (2)$$

де $M_{sc,2}$, $N_{sc,2}$ - згинальний момент та внутрішнє зусилля, що сприймає армований елемент.

Третя стадія характеризується відсутністю зовнішнього навантаження, а це спричиняє рівновагу між внутрішніми зусиллями згинального попередньо-напруженого елемента. Рівняння рівноваги для такого перерізу буде рівне (3)

$$\begin{cases} M_{sc,3} = M_{c,3} + M_{t,3}; \\ N_{t,3} + N_{sc,3} - N_{c,3} = 0; \end{cases} \quad (3)$$

З останнього рівняння рівноваги зрозуміло, що все попереднє напруження забезпечує саме армуючий матеріал. Запишемо чому дорівнює згинальний момент та внутрішнє зусилля, що сприймає він (4) та (5).

$$N_{sc,3} = A_{sc} f_{sc}(u) \quad (4)$$

$$M_{sc} = N_{sc} y_{sc} = A_{sc} f_{sc}(u) y_{sc} \quad (5)$$

Використовуючи відомі формули з визначення внутрішніх зусиль в дерев'яному згинальному елементі, а також внутрішні зусилля в армуючому матеріалі можливо побудувати графіки «момент-кривина» для попередньо-напруженого елемента. Загальна форма таких графіків буде мати форму Рис. 5.

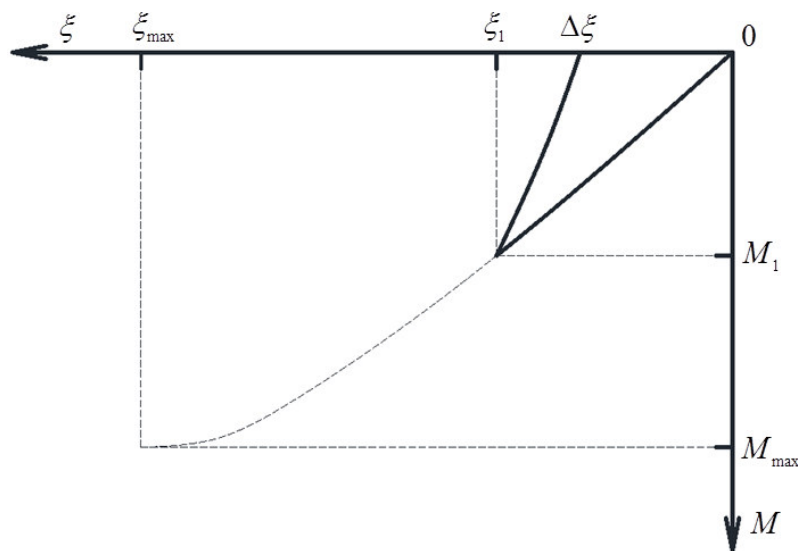


Рис. 5. Загальний вигляд графіку «момент-кривина» при попередньому напруженні згинального дерев'яного елемента

Моделювання згинального елемента під час попереднього напруження надає змогу визначити внутрішні напруження, які виникають в елементі, розрахувати залишкову кривину, а також прогин елемента. Під час використання елемента, як несучої конструкції, поперечний переріз в елементі може знаходити, як з додатною, так і з від'ємною кривиною. Особливості цих двох напружено-деформованих станів проявляється в зміні положення стиснутої та розтягнутої зони. В першому випадку стиснута зона знаходиться в нижній частині елемента, а верхню частину займає розтягнута зона. Після того, як кривина змінює свій знак з від'ємного на додатний, верхня частина стає стиснутою, а нижня розтягнутою (Рис. 6). Для цих двох випадків рівняння рівноваги будуть також різними.

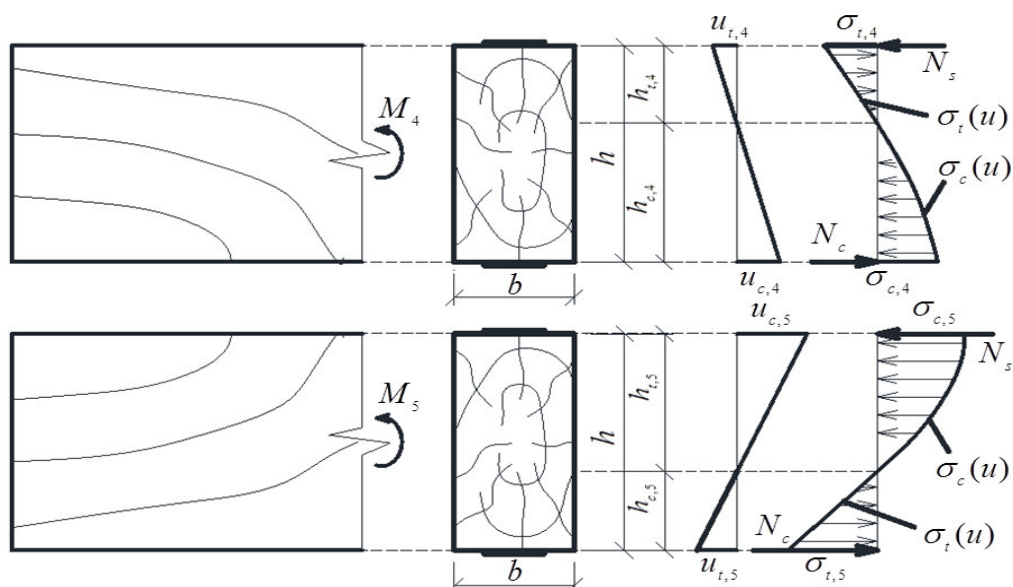


Рис. 6. Напружено-деформовані стани попередньо напруженого згинального дерев'яного елемента

В першому випадку на початку роботи рівняння рівноваги будуть рівними

$$\begin{cases} M_4 = M_{c,4} + M_{t,4} - M_{c,4} - M_{s,4}; \\ N_{t,4} - N_{c,4} + N_{c,4} - N_{s,4} = 0; \end{cases} \quad (6)$$

При другому варіанті завантаження напружено-деформований стан згинального елемента буде описуватися наступними рівняннями

$$\begin{cases} M_4 = M_{c,4} + M_{t,4} + M_{c,4} + M_{s,4}; \\ N_{t,4} + N_{c,4} - N_{c,4} - N_{s,4} = 0; \end{cases} \quad (7)$$

Вихідними параметрами будуть відносні деформації стиску та розтягу в крайніх волокнах деревини, відносні деформації в елементах армування, початкова кривина перерізу.

Вихідним же результатом є узагальнений вигляд графіку «момент-кривина» для найнебезпечнішого перерізу згинального елемента буде мати вигляд Рис. 7.

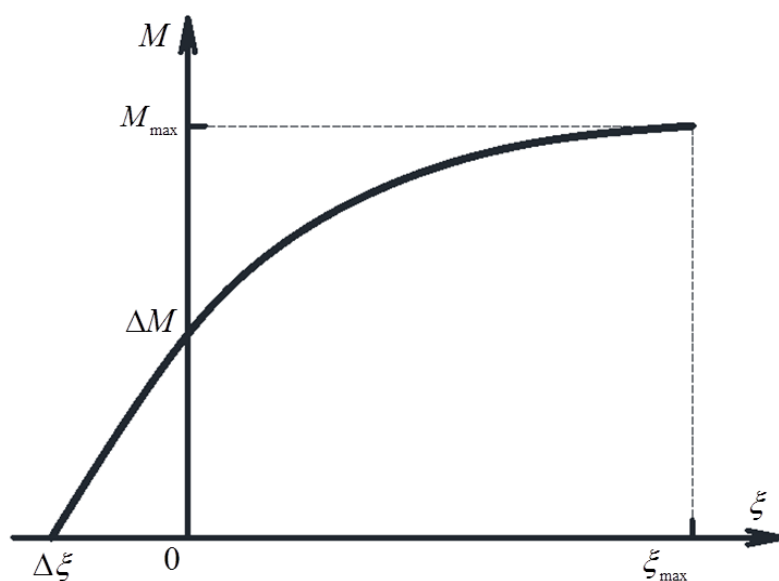


Рис. 7. Загальний вигляд графіку «момент-кривина» при роботі попередньо напруженого згинального дерев'яного елемента

Висновки. В результаті моделювання роботи згинального дерев'яного елемента можна зробити висновок, що при попередньому напруженні поперечний переріз проходить 3 основних напружено-деформованих стани. Кожен з яких має свою особливість розрахунків. Встановлено, що робота елемента має два напружених стани з додатною та від'ємною кривиною. Згинальний елемент по довжині має різні рівні попереднього напруження в перерізі, може мати різну схему завантаження за таких умов, в той же час при його роботі в складі конструкції будівлі чи споруди спостерігається ще інший напружено-деформований стан. Отже, розрахунок таких елементів потрібно виконувати тільки шляхом складного моделювання з врахуванням всіх зовнішніх факторів.

Література

1. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: ДП Укрархбудінформ, 2017. 111с.
2. Бондарчук Т. Б., Башинський О.І., Пелешко М.З. Несуча здатність та вогнестійкість дерев'яних балок армованих зовнішньою стрічковою арматурою. Вісник ЛДУБЖД, 2014. №9. С. 184-189.
3. Турковский С. Б., Погорельцев А.А. Деревянные конструкции на основе наклонно вклеенных стержней. Система ЦНИИСК. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. №6. С. 26-28.
4. Репин В. А. Деревянные балки с рациональным армированием: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. 2000. 158 с.
5. Щуко В.Ю., Рощина С.И. Армированные деревянные конструкции в строительстве: учебное пособие, 2002. 68 с.
6. Гомон С. С., Поліщук М.В. Влаштування комбінованого армування балок із клеєної деревини. Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат». Тези доповідей. Дубляни, 2019. С. 99-100.
7. 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.
8. Стоянов В. В. Усиление балочных конструкций методом послойного армирования. Известия вузов «Строительство», 2013. №11. С. 44-47.
9. 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.
10. 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. -№ у 201900104; заяв. 03.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. №12.
11. Sobczak-Piastka 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:10.3390/buildings10050092.
12. Gomon S., GomonS., Pavluk A., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Completed efections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019).
13. Гомон С.С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2011. Випуск 21. С. 176-180.
14. Патент на корисну модель № 143340 Україна, МПК E04C 3/26 (2006.01). Спосіб напруження зовнішньої стрічкової арматури балок з клеєної деревини. / Гомон С.С., Гомон

П.С., Поліщук М.В.; заявники і власники Національний університет водного господарства та природокористування-№ u2020 00431; заяв. 27.01.2020; опубл. 27.07.2020, Бюл. №14.

References

1. DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsiyyi budynkiv i sporud. Derev'yani konstruktsiyyi. Osnovni polozhennya. Kyiv: DP Ukrarkhbudinform, 2017. 111s.
2. Bondarchuk T. B., Bashyns'kyi O.I., Peleshko M.Z. Nesucha zdatnist' ta vohnestiykist' derev'yanykh balok armovanykh zovnishn'oyu strichkovoyu armaturoyu. Visnyk LDUBZHD, 2014. №9. S. 184-189.
3. Turkovskiy S. B., Pogorel'tsev A.A. Derevyannyye konstruktsii na osnove naklonno vkleyennykh sterzhney. Sistema TSNIISK. Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii KHKHÍ veka. 2008. №6. S. 26-28.
4. Repin V. A. Derevyannyye balki s ratsional'nyim armiroyaniyem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01, 2000. 158 s.
5. Shchuko V.YU., Roshchina S.I. Armirovannyye derevyannyye konstruktsii v stroitel'stve: uchebnoye posobiye, 2002. 68 s.
6. Gomon S. S., Polishchuk M.V. Vlashtuvannya kombinovanoho armuvannya balok iz kleyenoyi derevyny. Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiya «Efektyvni tekhnolohiyi i konstruktsiyyi v budivnytstvi ta arkhitektura sela. Rozrobka innovatsiynykh modeley ekoposelen' Prykarpattya ta Karpat». Tezy dopovidey. Dublyany, 2019. – s. 99-100.
7. Demchyna B. H., Surmay M.I., Kravz A.R., Blyakhar T.Y. Dosvid vyhotovlennya doshchatokleyenikh balok armovanykh nemetalevoyu armaturoyu // Suchasni budivel'ni materialy, konstruktsiyyi ta innovatsiyni tekhnolohiyi zvedennya budivel' i sporud: Visnyk DonNABA. Vyp. 5 (85): t. II. Makiyivka: DonNABA, 2010. S. 193-197.
8. Stoyanov V. V. Usylenye balochnykh konstruktsiy metodom posloynoho armyrovannya. Yzvestyya vuzov «Stroytel'stvo», 2013. №11. S. 44-47.
9. Yermolenko D.A., Ishchenko M.S. Mitsnist' ta deformatyvnist' kleyenikh derev'yanykh balok, armovanykh polimernoyu sitkoyu. ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava: PNTU, 2017. T. 2 (47). S. 140-147.
10. Patent na korysnu model' № 135229 Ukrayina, MPK E04S 3/12 (2006.01). Kleyena derev'yana balka / Homon S.S., Polishchuk M.V.; zayavnyky i vlasnyky Natsional'nyy universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya, Homon S.S., Polishchuk M.V. -№ u 201900104; zayav. 03.01.2019; opubl. 25.06.2019, Byul. №12.
11. Sobczak-Piastka 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.
12. Gomon S., GomonS., Pavluk A., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Completed eflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019).
13. Gomon S.S. Stadiyi napruzhenodeformovanoho stanu normal'nykh pereriziv roboty derevyny na z'hyn. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyyi, budivli ta sporudy. Rivne, 2011. Vypusk 21. S. 176-180.
14. Patent na korysnu model' № 143340 Ukrayina, MPK E04S 3/26 (2006.01). Sposib napruzheniya zovnishn'oyi strichkovoyi armatury balok z kleyenoyi derevyny. / Gomon S.S., Gomon P.S., Polishchuk M.V.; zayavnyky i vlasnyky Natsional'nyy universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya-№ u2020 00431; zayav. 27.01.2020; opubl. 27.07.2020, Byul. №14.

SIMULATION OF WORK OF A REINFORCED PRE-STRESSED WOODEN ELEMENT

Homon Petro, PhD, Associated Professor,
p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5312-0351
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

Annotation: An undeniable disadvantage of wood when using it in construction is its excessive flexibility. One of the ways to increase the stiffness of wooden elements is to use prestressing and reinforcement with stiffer elements. The manufacturing process of pre-stressed bending elements proposed by us is simple. However, determining the necessary effort, the necessary bending of the beam to ensure reliable operation, preventing the destruction of the element is quite difficult.

One of the methods of prestressing is described, namely, the method by which the beam receives internal stresses due to the release of the bending element after the action of the external load by gluing reinforced elements. The principle of such tension can be described in the following sequence: 1. We create a bend in the bending element by applying an external load to the element. 2. We reinforce the lower zone of the bending element. At the same time, we need to know under which stress-strained state the reinforced element was installed, so that its operation can be predicted. 3. We remove the applied force with which we created the bend in the flexible wooden element, while the element wants to acquire its original shape, but this will be prevented by the armature, which will absorb part of the load and leave a small bend. It was established that the level of prestressing, namely the curvature acquired by the bending element after prestressing, depends on the initial curvature of the wooden element, as well as on the area and physical and mechanical characteristics of the materials reinforcing the beam zones. To determine the prestress, it is necessary to establish the stress-deformed states of the bending element, which occur after gluing and release of the external force. At the same time, 3 levels of the stress-strain state can be distinguished. 1. At the first stage, the compressed zone is more than the stretched zone. The relative deformations of the compressed lower zone, where the material is to be attached, is the initial start for the work of the reinforced element. 2. At the second stage, the external bending moment decreases, the internal redistribution of forces takes place, in addition to the moment perceived by the compressed and stretched zone, a moment also occurs in the stretched reinforced element. 3. The third stage is characterized by the absence of an external load, and this causes a balance between the internal forces of the bending prestressed element. The equilibrium equation for three stages was obtained. When using the element as a load-bearing structure, the cross-section in the element can be with both positive and negative curvature. The peculiarities of these two stress-strain states are manifested in the change in the position of the compressed and stretched zones. In the first case, the compressed zone is located in the lower part of the element and the upper part is occupied by the stretched zone. After the curvature changes its sign from negative to positive, the upper part becomes compressed, and the lower part becomes stretched. As a result of the simulation, it is possible to conclude that the cross-section of a bending wooden element undergoes 3 main stress-deformed states during prestressing and two during its operation.

Key words: wood, curvature, bearing capacity, reinforcement, prestressing, composite reinforcement.