

Б.Г. Демчина<sup>1</sup>, Г.М. Олексин<sup>1</sup>, М.І. Сурмай<sup>2</sup>  
Національний університет "Львівська політехніка",  
<sup>1</sup>кафедра будівельних конструкцій та мостів,  
<sup>2</sup>кафедра мостів та будівельної механіки

## ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНІ ДЕРЕВ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ З НЕМЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

© Демчина Б.Г., Олексин Г.М., Сурмай М.І., 2012

**Запропоновано методи анкерування та випробування попередньо напруженої неметалевої арматури в дерев'яних балках. Наведено основні моделі та рекомендації.**

**Ключові слова:** склопластик, базальтопластик, дерев'яні конструкції, попередньо напружена арматура.

**In the article is proposed a methods of anchoring and testing of prestressed nonmetallic reinforcement in timber beams. Offer examples of principal model and recommendations.**

**Key words:** fiberglass plastic, fiberbasalt plastic, structural timber works, prestressed reinforcement

**Вступ.** Неметалеві полімерні композити сьогодні поширені в оборонній, аерокосмічній та машинобудівній галузях. Неметалеву арматуру в будівельних конструкціях застосовують у спорудах з агресивним середовищем чи наявністю електромагнітних хвиль. Саме вона володіє такими характеристиками, як корозійна стійкість, немагнітність, радіопрозорість, електроізоляція, а також є стійкою до циклічного заморожування та відтаювання [1].

Композитна арматура складається з орієнтованих скляних чи базальтових волокон та полімерного в'язучого. Власне вони і визначають властивості та особливості структури композитів. Волокна повністю сприймають зусилля на розтяг та стиск. Полімерне в'язуче об'єднує волокна в монолітний стрижень та захищає їх від вологи, хімічних реагентів та механічних пошкоджень, оскільки, будучи анізотропним матеріалом, волокно витримує поперечне навантаження від стиску до 10% межі міцності від поздовжнього розтягу. Лужне середовище бетону, проникаючи через мікропори в полімерній матриці, значно знижує міцність волокон. Для запобігання цьому на поверхню композитної арматури наносять спеціальну тонку полімерну плівку [2].

**Анкерування неметалевої арматури.** На кафедрах будівельних конструкцій і мостів та мостів і будівельної механіки Львівської політехніки з 2010 року проводяться експериментальні випробування клеєних дерев'яних армованих неметалевою арматурою конструкцій. Зокрема було проведено дослідження зчеплення дерев'яних зразків з металевою, склопластиковою та базальтопластиковою арматурою за різної довжини анкерування [3]. Результати досліджень показали недовикористання міцності кожного типу арматури (рис. 1) внаслідок руйнування зчеплення з деревиною через епоксидний клей ЭД – 1. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використовувати додаткові анкерні заходи, а саме встановлення механічних анкерів або ж зміну рифленості цієї арматури для створення вищих ребер зачеплення.

Під керівництвом д-ра техн. наук, проф. Б.Г. Демчини запроєктовано спеціальний цанговий затискний механізм (ЦЗМ-1) (рис. 2), який забезпечує утримання кінців арматури на торцях балки і гарантує зчеплення арматури у дерев'яних конструкціях та її ефективніше використання. Цанговий затискач дає змогу також виготовити попередньо напружені конструкції з неметалевою арматурою. Пристрій складається із патрону 1 з поздовжнім конічним отвором, в який вставляються нероз'ємні пружні цанги 2 і затискаються глухою гайкою 3, нерухомо фіксуючи встановлену арматуру. Спеціальна муфта 4 запроєктована для створення попереднього натягу арматури, вкладеної в паз дерев'яної балки.

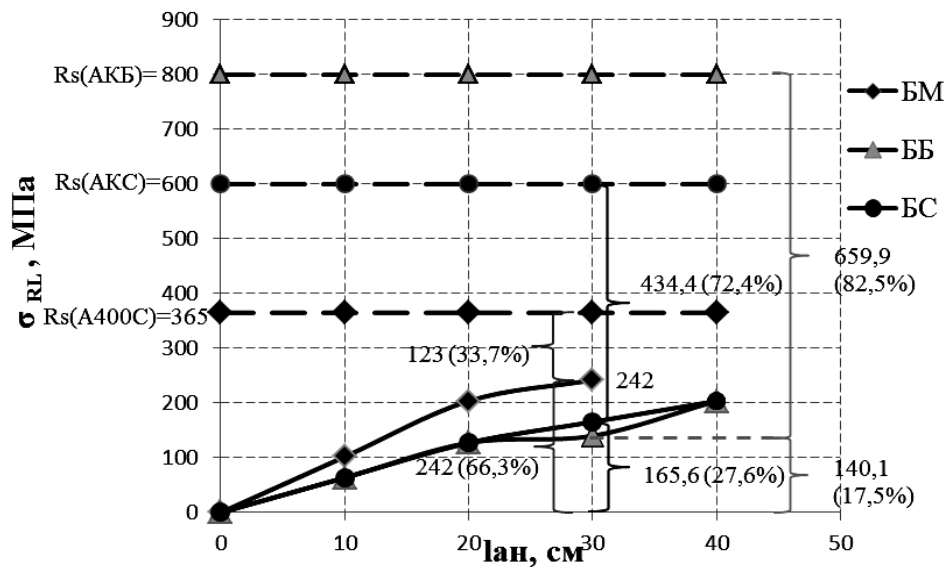


Рис.1. Залежність напруження в арматурних стержнях у граничному стані зчеплення  $S_{RL}$  від довжини анкерування  $l_{ан}$ ; БМ, ББ, БС – відповідно зразки з металеві, базальтопластикової та склопластикової арматури

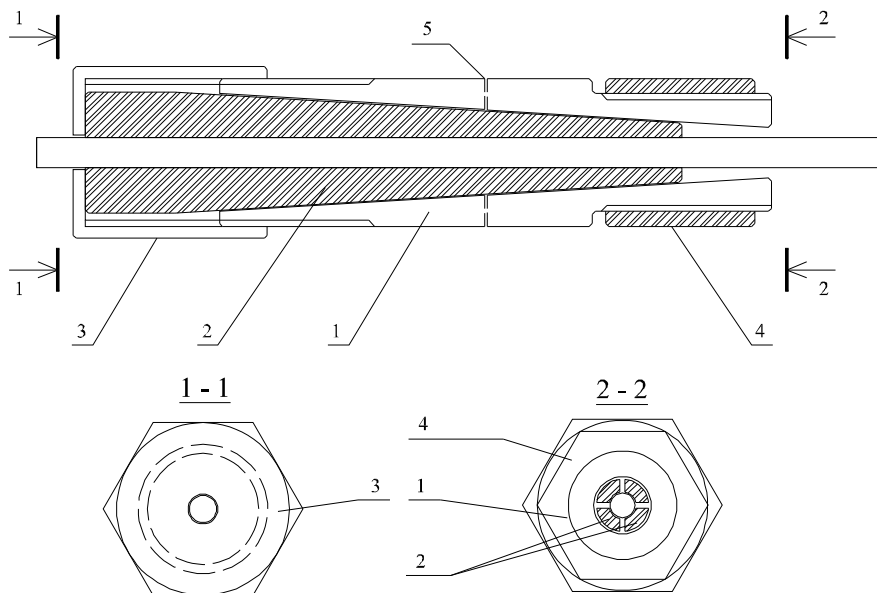


Рис.2. Схема цангового затискного механізму ЦЗМ-1: 1 – патрон; 2 – цанги; 3 – глуха гайка; 4 – муфта для напруження арматури, встановленої в балку; 5 – отвір для змащування цанг

**Попередньо напружені дерев'яні конструкції.** Досліджували дерев'яні конструкції зі сталеву арматурою І.М. Лінков, В.Ф. Бондін, В.Ю. Щуко та ін. [4]. Було визначено низку параметрів для раціонального та надійного проектування таких конструкцій. Також встановлено, що застосування попереднього напруження арматури в дерев'яних конструкціях підвищує їхню ефективність. Можливість використання склопластикової арматури в дерев'яних конструкціях вперше показав Б.В. Накашидзе [5], а досліджував попереднє напруження М.А. Кляйман [6]. Аналіз опублікованих праць у галузі армування деревини показав, що менше вивчено конструкції зі склопластиковою, ніж з металеву арматурою, а дослідження дерев'яних конструкцій із базальтопластиковою арматурою практично відсутні.

Застосування металеві арматури в попередньо напружених дерев'яних конструкціях значно знижує їхню ефективність. Зміна температурно-вологісного режиму між виробничими та експлуатаційними умовами може створювати перенапруження в конструкції, агресивне середовище

– сприяти виникненню корозії арматури. Все це не тільки знижує довговічність армованих елементів, а й спричиняє їх аварійний стан.

Основні експлуатаційні характеристики склопластикової (АКС) та базальтопластикової (АКБ) арматури наведено в таблиці.

### Основні експлуатаційні характеристики арматури

№ з/п	Найменування показника	АКС	АКБ
1	Тимчасовий опір на розтяг, МПа	1200	1800
2	Модуль пружності під час розтягу, МПа	55	70
3	Відносне видовження після розриву, %	2	
4	Температурний коефіцієнт лінійного розширення	$0,58 \cdot 10^{-5}$	
5	Електрична міцність в початковому стані, кВ/см	12	
6	Електричний опір в початковому стані, ГОм	20000	

Склопластикова та базальтопластикова арматури мають в 3 – 4 рази менший модуль пружності, ніж металева, коефіцієнти лінійного розширення неметалевої арматури та деревини є близькими за значеннями, що створює значні переваги у разі використання її для армування клеєних дерев'яних конструкцій. Немагнітність та радіопрозорість дають змогу застосовувати ці конструкції в спорудах спеціального призначення, де використання металевої арматури є небажаним. Крім того, що армування збільшує міцність та жорсткість конструкцій, воно здешевлює їх вартість порівняно із неармованими з аналогічними характеристиками на 25 – 30 % (рис. 3).

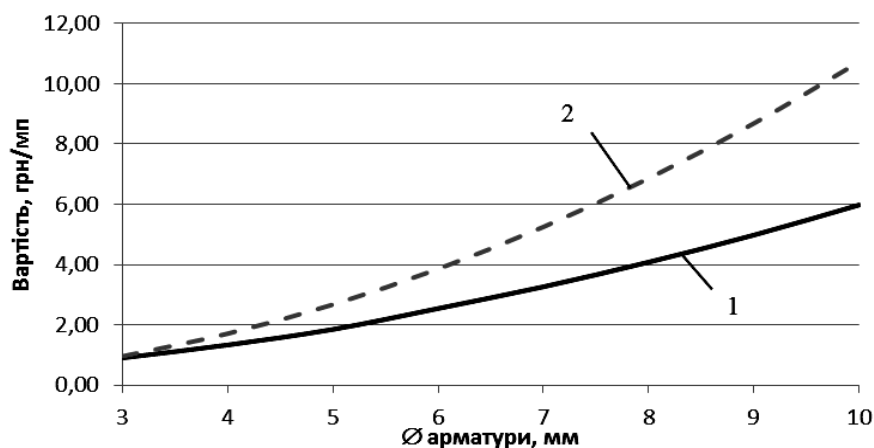


Рис. 3. Порівняння вартості 1 м армованої (1) та неармованої (2) клеєної дерев'яної балки з однаковими несучою здатністю та жорсткістю

У дерев'яних конструкціях арматура повністю знаходиться в епоксидній смолі, яка захищає волокна навіть після її попереднього напруження, що руйнує поверхневу полімерну плівку. Для усунення впливу лужного середовища на композитну арматуру в бетоні необхідно використовувати спеціальні добавки.

Для застосування попередньо напруженої неметалевої арматури в дерев'яних конструкціях необхідно проводити комплексні експериментальні дослідження із зчеплення її з деревиною до вивчення міцності та жорсткості таких конструкцій.

Програмою досліджень передбачено випробування балок з клеєної деревини поперечним перерізом 210x100 мм та прольотом 2700 мм, які армовані попередньо напруженою базальтовою арматурою, закріпленою на кінцях цанговим механізмом ЦЗМ-1 для запобігання втягуванню її кінців та створення попереднього напруження.

Розраховували напруження в деревині та арматурі за формулами (1) та (2), що враховують повзучість деревини за умов надійного зчеплення з арматурою [6].

$$\sigma_{\text{д}}(t) = \frac{N_{\text{о1}}}{F_{\text{н}}} \left[ \frac{\alpha_1}{\beta} + \left(1 - \frac{\alpha_1}{\beta}\right) e^{-\beta(t_1+t)} \right] \pm \frac{N_{\text{о1}} \varepsilon_{\text{о}} y}{I_{\text{н}}} \left[ \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \left(1 - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\right) e^{-\beta_1(t_1+t)} \right] \pm \frac{M y}{I_{\text{н}}} \left[ \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \left(1 - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\right) e^{-\beta_1 t_1} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{з}}(t) = \frac{N_{\text{о1}} F_{\text{д}}}{F_{\text{з}} F_{\text{н}}} \left[ \frac{\alpha_1}{\beta} + \left(1 - \frac{\alpha_1}{\beta}\right) e^{-\beta(t_1+t)} \right] \pm \frac{N_{\text{о1}} I_{\text{д}}}{F_{\text{н}} I_{\text{з}}} \left\{ \frac{I_{\text{з}}}{I_{\text{д}}} - \left[ \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \left(1 - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\right) e^{-\beta_1(t_1+t)} \right] \right\} + \frac{M \varepsilon_{\text{о}} E_{\text{з}}}{I_{\text{н}} E_{\text{д}}} \left[ \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1} + \left(1 - \frac{A_1 + \alpha_1}{\beta_1}\right) e^{-\beta_1 t_1} \right] \quad (2)$$

де  $N_{\text{о1}}$  – зусилля попереднього напруження арматури з врахуванням всіх втрат, крім втрат від повзучості деревини;  $M$  – згинальний момент від зовнішнього навантаження;  $F_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – приведені площа та момент інерції розрахункового перерізу;  $F_{\text{з}}$ ,  $F_{\text{д}}$ ,  $E_{\text{з}}$ ,  $E_{\text{д}}$  – площі перерізів та модулі пружностей арматури та деревини;  $I_{\text{з}}$ ,  $I_{\text{д}}$  – моменти інерції площ  $F_{\text{з}}$  та  $F_{\text{д}}$  відносно нейтральної осі перерізу;  $\varepsilon_{\text{о}}$  – ексцентриситет прикладання  $N_{\text{о1}}$  відносно нейтральної осі;  $y$  – відстань від нейтральної осі до розрахункового шару;  $t_1$  – час витримки балки без зовнішнього навантаження, діб;  $t$  – час витримки балки з моменту навантаження, діб.

$$\beta = \alpha_1 + \frac{A_1 m}{1 + m}, \beta_1 = \alpha_1 + \frac{A_1 m_1}{1 + m_1}, \left( m = \frac{E_{\text{з}} F_{\text{з}}}{E_{\text{д}} F_{\text{д}}}, m_1 = \frac{E_{\text{з}} I_{\text{з}}}{E_{\text{д}} I_{\text{д}}} \right), A_1 = 0.0275, \alpha_1 = 0.0625$$

Підставивши в формули (1) та (2) значення  $t_1$  та  $t$ , що дорівнюють нулю, отримаємо пружно-миттєве розв'язання задачі.

Цей принцип використовували автори [4, 6] для досліджень дерев'яних балок з металевою арматурою, за винятком врахування попереднього напруження, оскільки композитна арматура працює пружно аж до моменту розриву, а в металевій арматурі при настанні текучості ефект попереднього напруження щезає.

### Висновок

1. Попередні дослідження дерев'яних балок з неметалевою арматурою показали їхні надійність та ефективність.
2. Відсутність стандартів, рекомендацій та норм проектування значно стримують процес широкого застосування таких конструкцій, а це ще більше стосується попередньо напружених дерев'яних конструкцій з неметалевою арматурою.
3. Технічна можливість виконувати попереднє напруження неметалевої арматури у дерев'яних конструкціях за допомогою запропонованих цангових затискних механізмів гарантує широке їх застосування.

1. Салія Г.Ш., Шагин А.Л. *Бетонные конструкции с неметаллическим армированием*. – М.: Стройиздат, 1990. – 144 с.: ил. 2. Фролов Н.П. *Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции*. – М.: Стройиздат, 1980. – 104 с., ил. 3. Демчина Б.Г., Орешкин Д.О., Сурмай М.И. *Визначення максимальних дотичних напружень металевої та неметалевої арматури в дощатоклеєних призмах // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сборник научных трудов: В 3-х частях. Ч. 3. – № 15. – С. 34 – 39.* 4. Щуко В.Ю. *Клееные армированные деревянные конструкции: Учебное пособие / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина – СПб.: ГИОРД, 2009. – 128 с.* 5. Накашидзе Б.В. *Использование стеклопластиковой арматуры в клееных деревянных балках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции” / Б.В. Накашидзе. – Минск, 1973. – 22 с.* 6. Кляйман М.А. *Изгиб предварительно напряженных деревянных клееных балок со стеклопластиковой арматурой при длительном действии нагрузок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 “Строительные конструкции” / М.А. Кляйман. – М., 1985. – 27 с.*