

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ДОВЖИНИ АНКЕРУВАННЯ СТАЛЕВОЇ ТА КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ДОЩАТОКЛЕСНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Демчина Б.Г., д.т.н., професор,
Сурмай М.І., к.т.н., асистент,
Пелех А.Б., асистент,
Шидловський Я.М., аспірант,
Національний університет «Львівська політехніка»
mychajlo_surmaj@ukr.net

Анотація. Досліджено зчеплення композитної та сталеві арматури з деревиною через епоксидний клей. Дослідні зразки дощатоклеєних призм випробовувалися на висмикування вклеєної арматури. Провівши експериментальні дослідження встановлено залежності між зусиллям висмикування та проковзуванням ненавантаженого торця арматури. Виконано аналіз результатів випробувань, в ході якого отримано методику розрахунку необхідної довжини анкерування стержня арматури через епоксидний клей в деревині, з врахуванням напруження в арматурі та міцності деревини на сколювання. Визначено достатню збіжність теоретичних розрахунків з експериментальними даними, що дозволяє рекомендувати представлений метод розрахунку для проектування армованих дерев'яних конструкцій.

Ключові слова: дерев'яні дощатоклеєні конструкції, склопластикова та базальтопластикова арматура, довжина анкерування.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ДЛИНЫ АНКЕРОВКИ СТАЛЬНОЙ И КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ДОЩАТОКЛЕЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Демчина Б.Г., д.т.н., профессор,
Сурмай М.И., к.т.н., ассистент,
Пелех А.Б., ассистент,
Шидловский Я.М., аспирант,
Национальный университет «Львовская политехника»
mychajlo_surmaj@ukr.net

Аннотация. Исследовано сцепления стальной и композитной арматуры с древесиной с помощью эпоксидного клея. Опытные образцы дощатоклееных призм испытывались на выдергивание вклеенной арматуры. Проведя экспериментальные исследования, установлено зависимости между усилием выдергивания и проскальзыванием ненагруженного торца арматуры. Выполнен анализ результатов испытаний, в ходе которого получено методику расчета необходимой длины анкеровки стержня арматуры через эпоксидный клей в древесине, с учетом напряжения в арматуре и прочности древесины на скалывание. Определено достаточное сходство теоретических расчетов с экспериментальными данными, что позволяет рекомендовать представленный метод расчета для проектирования армированных деревянных конструкций.

Ключевые слова: деревянные дощатоклееные конструкции, стеклопластиковая и базальтопластиковая арматура, длина анкеровки.

DETERMINING OF THE REQUIRED LENGTH OF STEEL ANCHORING AND COMPOSITE FITTINGS IN PLANKGLUED WOODEN CONSTRUCTIONS

Demchyna B.G., Doktor of Engineering, Professor,
Surmai M.I., PhD, Assistant,
Peleh A.B., Assistant,
Shydlovskyy Y.M., postgraduate,
Lviv Polytechnic National University
mychajlo_surmaj@ukr.net

Abstract. The cohesion of steel and composite fittings with wood through epoxy adhesive has been investigated. Experimental samples of plankglued prisms were tested for the removal of glued fittings. After experimental research, the dependencies between the pulling load and the unscrewing end of the armature were loosened. The analysis of the test results during which the method of calculating the required length of the rod anchoring of the fittings through an epoxy adhesive in the wood, taking into account the stress in the fittings and the strength of the wood for cutting, was obtained. A sufficient convergence of theoretical calculations with experimental data is found, which allows to recommend the presented method of calculation for the design of reinforced wooden structures. For full use of the strength of the fiberglass and fiberbasalt fittings, it is necessary to use additional anchorages or increase the corrugation of the surface of the composite fittings and secure attachment of these ribs to the body of the fittings.

Keywords: plankglued wooden structures, fiberglass and fiberbasalt fittings, length of anchoring.

Вступ. Широке застосування неметалевих композитних полімерів в оборонній, аерокосмічній та машинобудівній промисловості значно прискорило їх розвиток. На сьогодні вони впроваджуються і в інженерних спорудах. Висока міцність на одиницю маси, важкогорючість, унікальна хімічна стійкість, невіддатність корозії та електромагнітним хвилям збільшують сферу використання конструкцій армованих неметалевими композитами, а також їх довговічність і значно зменшують потребу в дорогих ремонтах [1]. Тому, є необхідним всебічне і широке вивчення роботи конструкцій армованих неметалевою композитною арматурою [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На даний час досліджено дерев'яні дощатоклеєні конструкції армовані сталеву арматурою, яка порівняно зі склопластиковою та базальтопластиковою є менш міцною і водночас піддається корозії в агресивних середовищах, а отже недостатньо ефективною для використання в таких конструкціях [3].

Мета та задачі досліджень. Для вивчення роботи дощатоклеєних балок армованих композитною арматурою необхідно було дослідити та порівняти зчеплення базальтопластикової, склопластикової та сталеві арматури вклеєної у дощатоклеєні призми, які випробовувалися на висмикування [4] та встановити необхідну довжину анкерування арматури. Загальний вигляд дослідних зразків зображено на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд дослідних зразків.

Для проведення досліджень було виготовлено 14 дослідних зразків. В призміві дерев'яні зразки була вкладена арматура діаметром 10мм. Довжина анкерування складала – 10d, 20d, 30d та 40d (d = 10 мм – діаметр арматури). Випуск арматури для захвату губками розривної машини було прийнято 150 мм. Зчеплення арматури з деревиною здійснювалося за допомогою епоксидного клею ЕД-1 де в якості наповнювача застосовувався портландцемент М400 у співвідношенні 1:1. Попередньо в середній дошці призм були вирізані пази, в які заливалась суміш клею і встановлювалась арматура.

Випробування зразків виконувалося на розривній машині марки Р-10 № 2203 (ГОСТ 7855-74) за допомогою спеціальної силової рамки 1 (рис. 2), запроєктованої для аналогічних випробувань. Навантаження до стержня прикладалося ступенями по 1.0 кН. Під час навантажень вимірювалося проковзування (переміщення) вільного кінця стержня відносно торця призми 2 годинниковим мікроіндикатором 3 з ціною поділки 0.001 мм. За його допомогою визначалося переміщення ненавантаженого кінця арматури відносно деревини. Для надійного закріплення індикатора у торці зразка до поверхні деревини приклеювався тримач 4. Загальний вигляд зразка після руйнування показано на рис. 3.

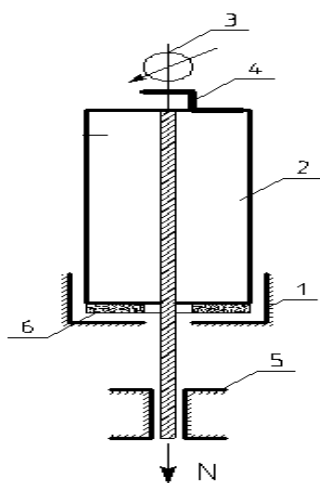


Рис.2. Схема випробування дослідних зразків на розривній машині Р-10: 1 – силова рамка; 2 – дослідний зразок; 3 – індикатор; 4 – тримач; 5 – губки розривної машини; 6 – дерев'яна прокладка



Рис. 3. Вигляд зразка зі склопластиковою арматурою після випробувань: а – загальний вигляд; б – вигляд висмикнутої арматури

Наукові результати. Для важкого бетону згідно з Британським стандартом BS 4449:1997 [5] прийнято за критерій граничного стану зчеплення взаємні зміщення бетону та арматури на рівні $\delta = 0,2$ мм. Для спільної роботи композитної арматури з деревиною через епоксидний клей ці зміщення є малодосліджені [6] та ненормовані. За критерій руйнівного стану зразків прийнято критичне зміщення вільного кінця арматури відносно деревини δ_{cr} , що знаходилося в точці перегину графіків залежностей “ $\sigma_s - \delta$ ” (на прикладі рис. 4), де σ_s – напруження в стержні арматури яке знаходилося з рівняння $\sigma_s = F / A$, де F – сила, прикладена до стержня з площею перерізу A . Точка перегину «В» знаходилася за допомогою прямих ліній «х» та «у», дотичних до кривих “ $\sigma_s - \delta$ ” в місці їх перегину, і з точки їх перетину опускалася бісектриса «z» до кривої. В місці перетину кривої та бісектриси «z» знаходилася точка перегину «В».

Результати зміщення ненавантаженого торця кожного типу арматури відносно дерев'яних призм представлено на рис. 4...6.

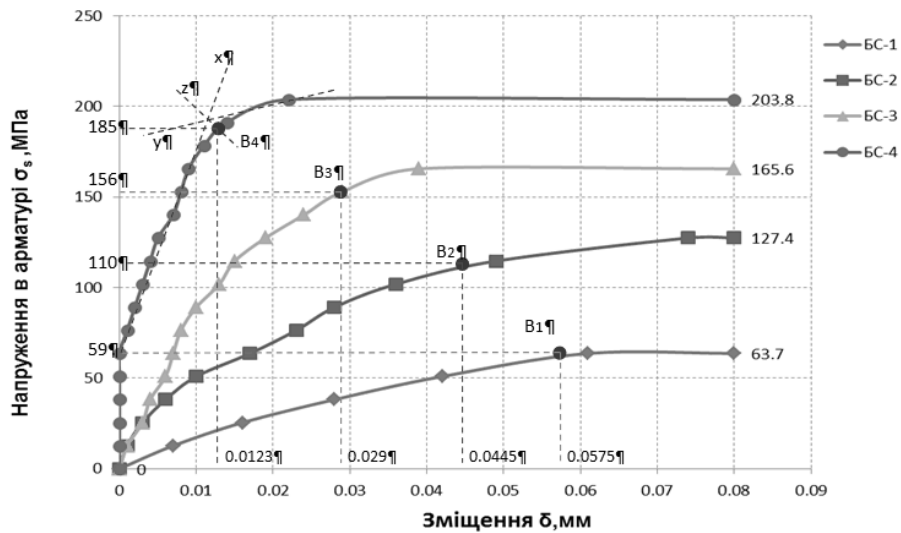


Рис. 4. Зміщення торця арматури δ в залежності від напруження σ_s в склопластиковій композитній арматурі (АКС)

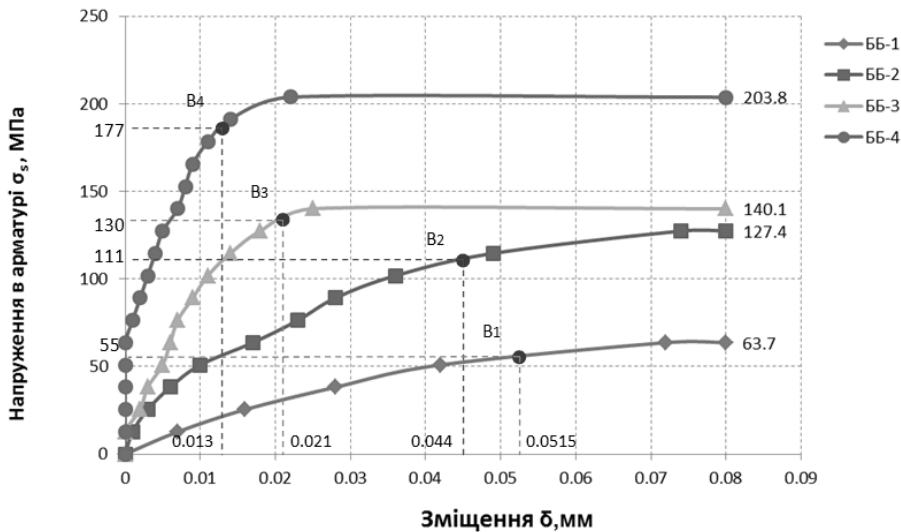


Рис. 5. Зміщення торця арматури δ в залежності від напруження σ_s в базальтопластиковій композитній арматурі (АКБ)

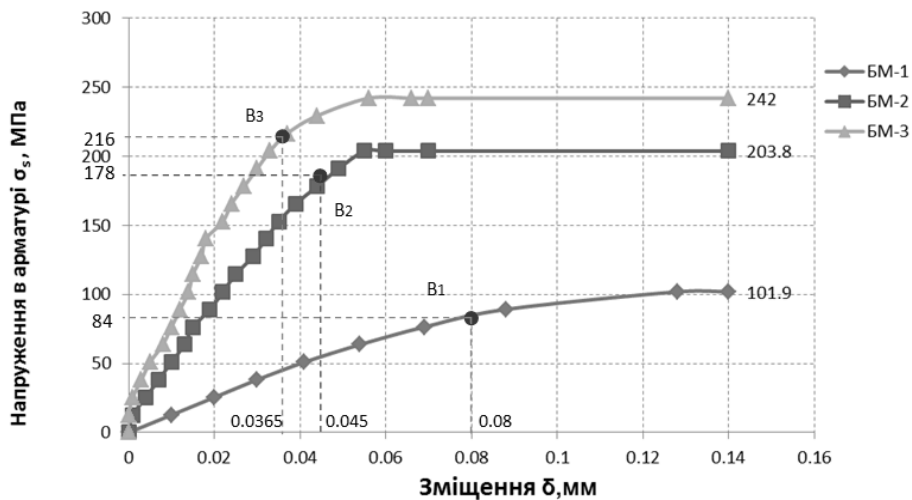


Рис. 6. Зміщення торця арматури δ в залежності від напруження σ_s в сталевій арматурі класу А400С

В жодному випробуванні не відбулося руйнування від розриву арматури. Це підтвердило недовикористання міцності кожного типу арматури (рис. 7) для прийнятих варіантів довжини її анкерування за рахунок руйнування зчеплення з деревиною через епоксидний клей ЭД – 1 [7].

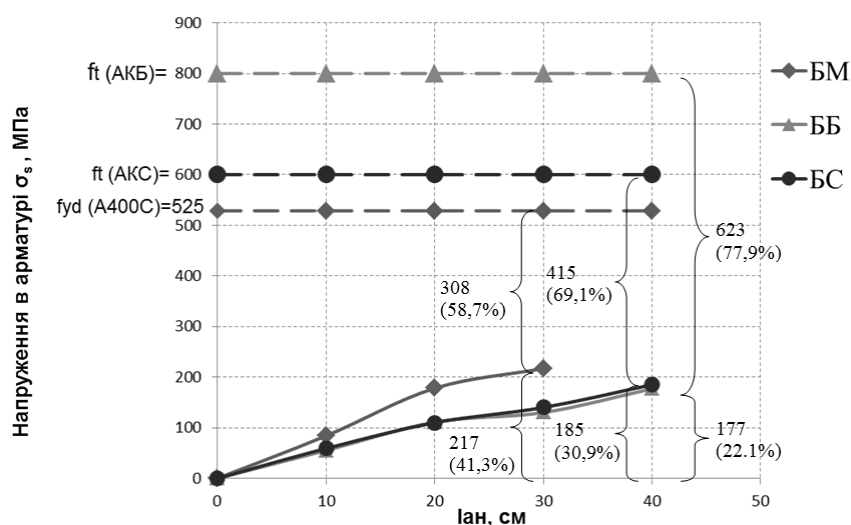


Рис. 7. Залежність напруження в арматурних стержнях у граничному стані зчеплення від довжини анкерування

Дослідження зчеплення композитної арматури з деревиною через епоксидний клей, показали необхідність використання додаткових заходів з анкерування та/або зміни поверхні стержнів арматури на більш ефективніші для повного використання міцності арматури в дерев'яних конструкціях. Рекомендоване граничне зміщення δ_{\max} є найменшим критичним значенням відносного зміщення вільного кінця арматури та деревини і настає в момент, коли напруження в арматурі досягає 82% від максимального (рис. 6).

Визначення необхідної довжини анкерування. Проаналізувавши графіки залежностей зміщення торця арматури δ від напруження в її перерізі σ_s (рис. 4...6) встановлено точки критичного зміщення для кожного типу арматури та довжини анкерування. Як виявилось, ці точки, для кожного типу арматури, розташовувалися на одній прямій (рис. 8). Були побудовані апроксимуючі криві за лінійними функціями, що відображали залежності між напруженням в стержнях арматури та зміщенням ненавантаженого торця.

З рис. 8 також встановлено, що співвідношення σ_s/δ , за винятком зразка БМ-2 [6], не залежно від типу арматури, були сталими для кожної довжини анкерування і знаходились на прямій ОА при довжині анкерування $l_{bd}=10$ см, на прямій ОВ при довжині анкерування $l_{bd}=20$ см, ОС при довжині анкерування $l_{bd}=40$ см та ОД при довжині анкерування $l_{bd}=40$ см.

Експериментальні значення залежності між співвідношенням σ_s/δ та довжиною анкерування l_{bd} зображено на рис. 9. З цього графіка прослідковувалась експоненціальна функція кривої. Провівши математичний аналіз графіків на рис.9, встановлено рівняння для даної кривої:

$$\frac{\sigma_s}{\delta} = 1050 \cdot \xi, \quad (1)$$

де ξ – коефіцієнт, що знаходився за рівнянням:

$$\xi = 1.077^{(l_{bd}-4.56)} - 0.5. \quad (2)$$

Порівнявши експериментальні значення залежності між співвідношенням σ_s/δ (МПа/мм) та довжиною анкерування l_{bd} (см) із теоретичними, встановлено їх достатню збіжність в межах 4,6%.

З рівнянь (1) та (2) отримано рівняння:

$$\frac{\sigma_s}{1050 \cdot \delta} = 1.077^{(l_{bd}-4.56)} - 0.5, \quad (3)$$

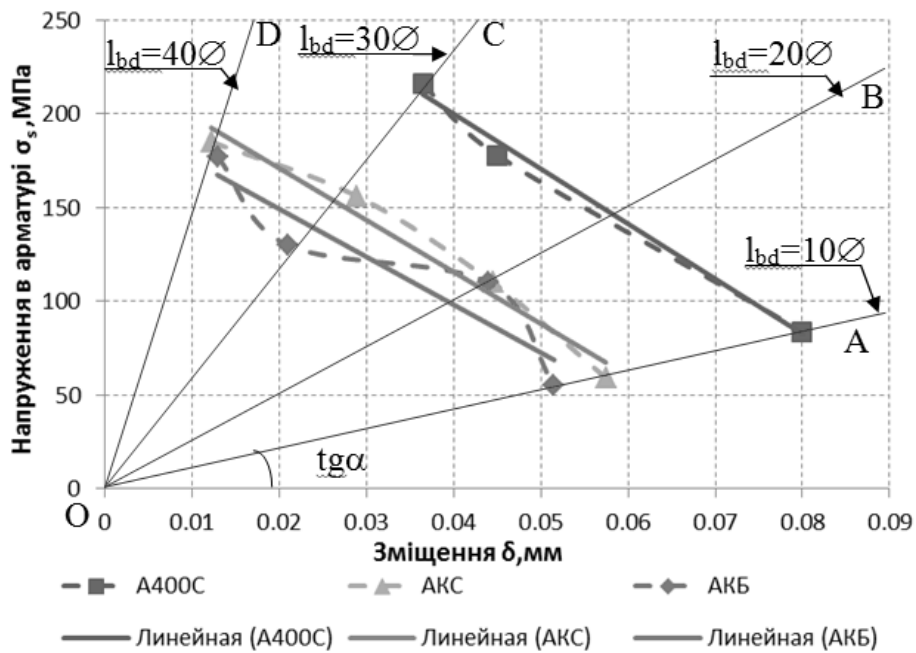


Рис. 8. Графік залежності зміщень ненавантажених торців кожного типу арматури від довжини анкерування та напруження в перерізі σ_s

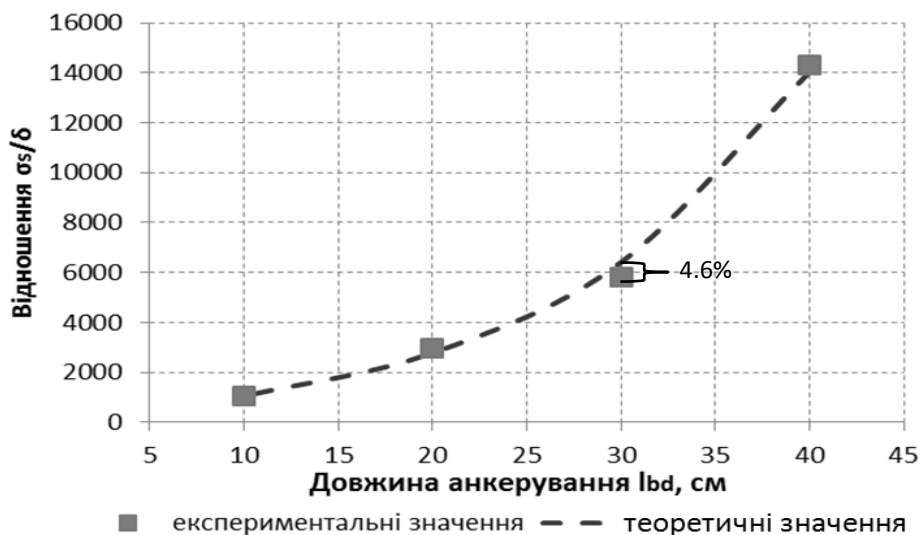


Рис. 9. Експериментальні значення залежності між співвідношенням σ_s/δ та довжиною анкерування l_{bd} і порівняння із теоретичними значеннями в межах довжини анкерування від 10 до 40см

звідки виведено залежність для знаходження необхідної довжини анкерування композитної та сталеві арматури l_{bd} (см) в дощатоклеєних елементах в залежності від напруження в арматурі σ_s :

$$l_{bd} = 4,56 + \log_{1,077} \left(\frac{\sigma_s}{1050 \cdot \delta} + 0,5 \right). \quad (4)$$

Враховуючи можливість висмикування арматури внаслідок сколювання деревини по периметру клейового з'єднання, дотичні напруження в деревині по довжині анкерування арматури не повинні перевищувати розрахункове значення міцності деревини на сколювання:

$$f_{v,d} = \frac{N}{\pi \cdot d \cdot l_{bd}}. \quad (5)$$

Враховуючи, що $N = \sigma_s \cdot A_s = \sigma_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, необхідна довжина анкерування визначалась з наступного рівняння:

$$l_{bd} = \frac{N}{\pi \cdot d \cdot f_{v,d}} = \frac{\sigma_s \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f_{v,d}} = \frac{\sigma_s \cdot d}{4 \cdot f_{v,d}}. \quad (6)$$

Отже, для знаходження необхідної довжини анкерування стержня арматури через епоксидний клей в деревині, необхідно використовувати наступне рівняння, яке враховує напруження в арматурі σ_s та розрахункову міцність деревини на сколювання $f_{v,d}$ [8]:

$$l_{bd} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,56 + \log_{1,077} \left(\frac{\sigma_s}{1050 \cdot \delta} + 0,5 \right) \\ \frac{\sigma_s \cdot d}{4 \cdot f_{v,d}} \end{array} \right\}. \quad (7)$$

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблено та реалізовано методику експериментального дослідження міцності зчеплення композитної та сталеві арматури з дощатоклеєною деревиною та наведено методику розрахунку необхідної довжини анкерування. Проаналізувавши дані експериментальних досліджень зчеплення арматури з деревиною через епоксидний клей, встановлено значне недовикористання міцнісних характеристик композитної арматури, зумовлене її великою міцністю та деформативністю в порівнянні зі сталеві арматурою. Для повного використання міцності склопластикові та базальтопластикові арматури необхідно використовувати додаткові анкерні заходи або ж збільшення рифленості поверхні композитної арматури та з надійним кріпленням цих рифлів до тіла арматури.

Тенденція збільшення вартості сталеві арматури, а також неможливість використання її в конструкціях споруд з агресивним середовищем або специфікою умов роботи технологічного обладнання, яке пов'язано із забезпеченням радіопрозорості, безперешкодного доступу електромагнітних хвиль та ін., сприяє ширшому застосуванню армованих дощатоклеєних конструкцій із неметалевою композитною арматурою в будівництві.

Література

1. ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009 «Ровінг з базальтових волокон. Технічні вимоги» п. 3.1.6. – Славута, 2009. – 13 с.
2. Демчина Б.Г. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок, армованих неметалевою арматурою / Б.Г. Демчина, М.І. Сурмай, А.Р. Кравз, Т.Й. Бляхар // Вісник ДонНАБА, 2010. – №5(85) том II. – С. 193-197.
3. Клееные армированные деревянные конструкции : Учебное пособие / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 128 с.
4. ДБН В.2.6-161-2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення / ДНДІБК. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 106 с.
5. Carbon steel bars for the reinforcement of concrete: BS 4449:1997 – London: BSI, 1997. – 9 с.
6. Накашидзе Б.В. Использование стеклопластиковой арматуры в клееных деревянных балках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.01 / Накашидзе Борис Васильевич. – Минск, 1973. – 22 с.
7. Демчина Б.Г. Попередньо напружені дерев'яні конструкції з неметалевою арматурою / Б.Г. Демчина, Г.М. Олексин, М.І. Сурмай // Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва. – №737, т. I. – Львів, НУЛП, 2012. – С. 87-92.
8. Сурмай М.І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковію та базальтовою арматурою: дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Сурмай Михайло Ігорович. – Львів, 2015. – 186 с.

Стаття надійшла 23.10.2017