

*О.І. Башинський, канд. техн. наук, доцент, Т.Б. Боднарчук канд. техн. наук,  
доцент, М.З. Пелешко канд. техн. наук  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львівський  
Національний аграрний університет)*

## **НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК АРМОВАНИХ ЗОВНІШНЬОЮ СТРІЧКОВОЮ АРМАТУРОЮ**

Стаття присвячена питанням армування дерев'яних конструкцій. На основі експериментальних досліджень показано, що армування дерев'яних балок металевою стрічковою арматурою дає змогу в двічі збільшити їх несучу здатність. Найбільш ефективним способом армування дерев'яних балок стрічковою арматурою є встановлення її вертикально в площині дії згинального моменту. Показано, що підвищення межі вогнестійкості дерев'яних балок, армованих зовнішньою стрічковою арматурою можна досягнути за допомогою вогнезахисного покриття Ендотерм ХТ 150.

Ключові слова: дерев'яні конструкції, металева стрічкова арматура, межа вогнестійкості, вогнестійкість.

**Постановка проблеми.** Створення нових ефективних конструкцій – головна вимога сучасного будівельного виробництва. Армування дерев'яних конструкцій стержневою арматурою періодичного профілю уже відоме і успішно використовується у будівництві. Використання стрічкової сталі для зовнішнього армування дерев'яних конструкцій залишається ще маловивченим. Для її широкого застосування необхідно провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану конструкції, дослідити зчеплення арматури з деревиною, вивчити вплив довготривалого навантаження на міцність та жорсткість, визначити їх вогнестійкість.

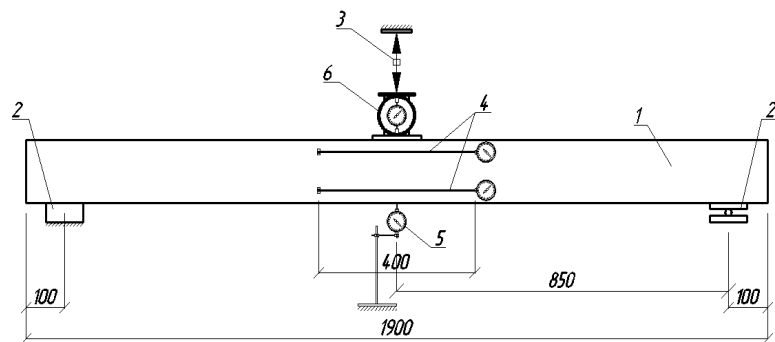
**Аналіз останніх публікацій.** Проблемами дерев'яних конструкцій армованих металевою стержневою арматурою займалися В.Ю. Щуко, С.І. Роціна, Е.С. Уточкіна, А.В. Кріцін, В.А. Репін та ін. В останні роки роботу склопластикової та базальтопластикової арматури в поєднанні з дощаноклеєними балками досліджують науковці НУ «Львівська політехніка» Б.Г. Демчина, Т.Й. Бляхар, А.Р. Кравз, М.І. Сурмай [3]. Ними [3] доведено, що підсилення деревини арматурою зменшує вплив природних вад деревини, суттєво збільшує несучу здатність та жорсткість конструкцій при зниженні їх маси та вартості.

**Постановка завдання.** Об'єктом дослідження були балки суцільного перерізу довжиною 1900 мм та поперечним перерізом 150×100 мм з подвійним армуванням

металевою гладкою стрічкою. Армування кріпилась до балки з допомогою клею в другій та третій серіях, а в четвертій з допомогою самонарізів. Для порівняння результатів досліджувались аналогічні балки першої серії без армування.

Для забезпечення зчеплення арматури з деревиною використовували епоксидний клей ЕД-1, що заливався в попередньо вибрані пази. Після цього зразки встановлювали під прес з витримкою 12 год. У зразків четвертої серії стрічкову арматуру закріплювали з допомогою самонарізів.

**Виклад основного матеріалу.** Випробування проводились в лабораторії кафедри будівельних конструкцій Львівського Національного аграрного університету. Для експерименту використовувався стенд статичних випробувань балкових конструкцій. Зусилля прикладались однією сумарною силою посередині прогону гідравлічним домкратом та контролювалося динамометром. Прогин балки визначався трьома індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, два з яких вимірювали просідання опор, а третій фіксував прогин посередині балки. В найбільш напружених ділянках стиснутої та розтягнутої зони балки деформації вимірювались також мікроіндикаторами годинникового типу (рис. 1).



*Рис.1. Схема стенду та розміщення вимірювальних приладів на дослідних балках: 1 - зразок що випробовується; 2 - нерухома та рухома опори; 3 - гідравлічний домкрат; 4 - мікроіндикатори; 5 - прогиномір на штативі; 6 - кільцевий динамометр*

Програмою експерименту передбачалось дослідження балок чотирьох серій:

I серія - балка без армування.

II серія - балка армована металевою половою 40×4мм, з'єднання яких виконувалося за допомогою епоксидного клею (рис.2).

III серія - балка армована металевою смугою 40×4 мм, поставленою на ребро, з'єднання яких виконувалося за допомогою епоксидного клею.

IV серія - балка армована металевою смугою 40×4мм, приєднання якої виконувалося

за допомогою самонарізів (рис.3).

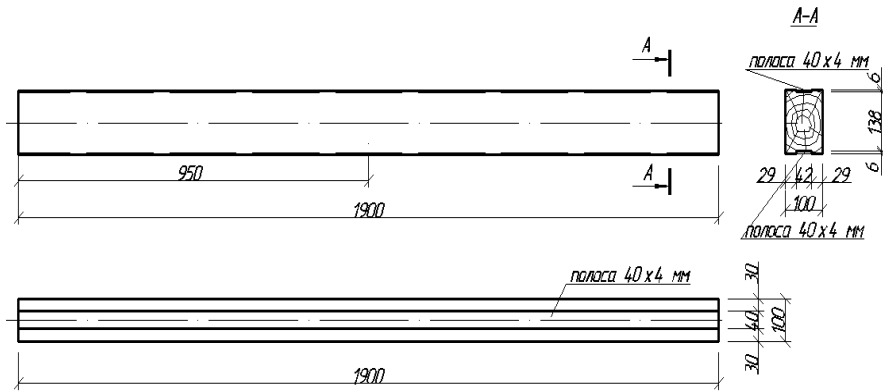


Рис. 2. Схема армування дослідних зразків серії II та IV

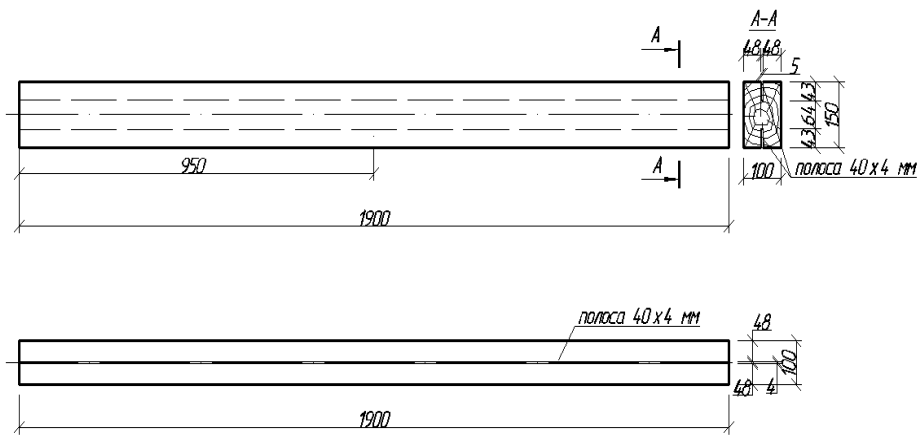


Рис. 3. Схема армування дослідних зразків серії III

Аналізуючи експериментальні дані деформацій в найбільш напружених зонах балок та їх прогини можна зробити такі висновки:

1. При навантаженнях, що становлять  $0,25$  від руйнівного навантаження ( $0,25N_{max}$ ) металодерев'яна балка працює в пружній стадії.

2. Граничні прогини в армованих балках досягались при навантаженнях, що втричі перевищували навантаження в неармованих балках.

3. Наявність арматури дала змогу збільшити несучу здатність дерев'яних балок другої та четвертої серій в 2 рази, третьої у 2,6 рази, а також підвищити їх жорсткість у 2 та 2,5 рази відповідно.

4. Практично усі балки зруйнувались від розриву волокон деревини в розтягнутій зоні.

5. Наявність арматури запобігає раптовому фізичному руйнуванню балок в момент розриву нижніх волокон деревини.

**Теоретичний розрахунок.** Одним із провідних науковців в галузі армованих дерев'яних конструкцій є Щуко В.Ю [1]. Згідно з цією методикою момент інерції армованих конструкцій, що працюють на згин, визначається за залежністю:

$$I_{np} = b h^3 / 12 + n F_a \cdot (h_0 / 2)^2 \quad \text{см}^4; \quad (1)$$

де  $I_{np}$ - приведений момент інерції;  $b$ - ширина перерізу;  $h$ - висота перерізу;  $n$  - співвідношення модулів пружності арматури та деревини;  $F_a$ - площа поперечного перерізу арматури;  $h_0$ - відстань від центра ваги арматури до центра ваги балки.

Момент опору визначається за формулою:

$$W_{np} = 2 \cdot I_{np} / h_0. \quad \text{см}^3; \quad (2)$$

Результати, які були отримані при теоретичному розрахунку, порівнювалися з результатами експериментальних досліджень і наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати теоретичних розрахунків несучої здатності армованих дерев'яних балок за методикою В.Ю. Щуко

Балка	$N_{\text{за.мет.Щуко}}$ , кН	$N_{\text{екс.}}$ , кН	%
Б-1 (серія I)	5.41	17.7	31
БА-2 (серія II)	10.35	35.5	29
БА-3 (серія III)	12.55	47.7	26
БА-4 (серія IV)	10.48	35.4	30

У відповідності до розрахункової схеми,  $N$  - це максимальне значення прикладеної сили.

Порівнюючи експериментальні дані з теоретичними розрахунками за методикою В.Ю. Щуко встановлено, що розбіжність становить близько 29%.

При розрахунку за рекомендаціями Клименка В.З [2] розрахункові характеристики перерізу для балок з подвійним симетричним армуванням визначають за формулами:

$$I_{np} = \frac{b \cdot h^3}{12} + \left( 1 + 3 \frac{E_a}{E_d} \mu \right); \quad W_{np} = \frac{2I_{np}}{h_0} \quad \text{см}^4, \quad (3)$$

де  $E_a$ ,  $E_d$  - модулі пружності арматури і деревини;  $\mu = F_a / bh$  - коефіцієнт армування перерізу;  $F_a$  - площа арматури;  $b$  та  $h$  - висота та ширина;  $a$  - відстань від центра ваги арматури до центра ваги балки.

Порівняння результатів теоретичних розрахунків дослідних балок за методикою запропонованою Клименком В.З. з експериментальними даними показує розбіжність близько 26,75% і подане в таблиці 2.

Результати теоретичних розрахунків несучої здатності армованих дерев'яних балок за методикою В.З. Клименка

Балка	$N_{\text{Клименко}}$ , кН	$N_{\text{екс.}}$ , кН	%
Б-1 (серія I)	5.41	17.7	31
БА-2 (серія II)	10.35	35.5	29
БА-3 (серія III)	8.38	47.7	18
БА-4 (серія IV)	10.35	35.4	29

**Запропонована методика.** З метою збільшення точності оцінки несучої здатності армованих балок спробуємо використати розрахунковий апарат, що базується на визначені геометричних характеристик складеного перерізу металодерев'яної балки з врахуванням способу з'єднання арматури з деревиною. Оскільки переріз симетричний то момент інерції та момент опору матиме вигляд:

$$I_{np} = \frac{bh^3}{12} + 2 \frac{t \cdot c^3}{12} \cdot \frac{E_a}{E_d} \cdot \xi + 2 \cdot t \cdot c \cdot a^2 \cdot \frac{E_a}{E_d} \cdot \xi \quad \text{см}^4; \quad (4)$$

$$W_{np} = \frac{2I_{np}}{h_0} \quad \text{см}^3; \quad (2)$$

де:  $\frac{b \cdot h^3}{12}$  – момент інерції дерев'яної балки;  $\frac{t \cdot c^3}{12}$  – момент інерції арматури;  $\frac{E_a}{E_d}$  –

приведений модуль пружності арматури до деревини;  $a$  - відстань від центра ваги арматури до центра ваги балки;  $\xi$  - коефіцієнт що враховує спосіб з'єднання арматури з деревиною.

Величину прогину визначаємо за формулою:

$$f_o = \frac{P \cdot l^3}{48E \cdot I} \leq [f] \text{ см}; f = f_o \times \xi \text{ см}. \quad (5)$$

Результати розрахунків подані в таблиці 3.

Результати теоретичних розрахунків несучої здатності армованих дерев'яних балок за запропонованою методикою

Балка	$N_{\text{склад. метод.}}$ , кН	$N_{\text{екс.}}$ , кН	%
Б-1 (серія I)	5.4	17.7	31
БА-2 (серія II)	19.44	35.5	55
БА-3 (серія III)	24.47	47.7	51
БА-4 (серія IV)	15.93	35.4	45

Отже найточнішою із розглянутих методик розрахунку є оцінка несучої здатності за запропонованою методикою. Оскільки коефіцієнт  $\xi$  був прийнятий на основі невеликої кількості експериментальних даних (з'єднання за допомогою клею – 1, за допомогою само-нарізів – 0,96) то його необхідно уточнити, що дасть ще більшу точність теоретичних розрахунків. Розбіжність результатів при цій методиці розрахунку становить близько 45,5%.

Незважаючи на те, що дерев'яні конструкції є горючими [5], час, впродовж якого вони можуть протидіяти високим температурам інколи є більшим, ніж у металевих конструкціях. Це звичайно залежить від масивності елементів конструкції, гострих граней та інших факторів, що прискорюють чи сповільнюють горіння. При зовнішньому армуванні дерев'яних конструкцій стрічковою сталлю вона є незахищеною і може впливати на межу вогнестійкості [4]. Тому для збільшення межі вогнестійкості даних дерев'яних балок, армованих зовнішньою стрічковою арматурою, їх було оброблено вогнезахисним покриттям Ендотерм ХТ 150 для деревини та металу, що підвищило межу вогнестійкості стрічкової арматури до R60 та забезпечило I групу вогнезахисної ефективності деревини (це вогнезахисне покриття є сертифікованим та має широке застосування на ринку України).

## **Висновки**

1. Розбіжність між теоретичними розрахунками та результатами експериментальних досліджень склала для методики Щуко В.Ю. становить близько 29%, для методики запропонованої Клименко В.З. - 26,75%, а для методики запропонованої авторами – 45,5% (зважаючи на неоднорідність будови деревини ці результати є цілком прийнятними). При оцінці прогинів за запропонованою методикою розбіжність становила 37%, а за методикою Щуко В.Ю. - 45%. Отже запропонований метод можна використовувати для оцінки несучої здатності та жорсткості армованих дерев'яних конструкцій.

2. Армування дерев'яних балок дозволяє майже удвічі збільшує їх несучу здатність, оскільки розташована у найбільш напружених ділянках перерізу металева арматура сприяє створенню внутрішнього моменту, який в декілька разів може перевищувати момент аналогічних неармованих згинаних елементів (залежно від відсотка армування).

3. Найбільш ефективним способом армування дерев'яних балок стрічковою арматурою є встановлення її вертикально в площині дії згинального моменту (серія III).

4. Кріплення стрічкової сталі до дерев'яних балок з допомогою клею (серія II) та шурупів (серія IV) під час експериментальних досліджень показало високу їх надійність у забезпеченні спільної роботи матеріалів в конструкції.

5. Використання стрічкової сталі доцільне при реконструкції та підсиленні дерев'яних конструкцій, оскільки кріплення її з допомогою шурупів є простим та недорогим методом.

6. Для збільшення межі вогнестійкості дерев'яні конструкції армовані зовнішньою стрічковою арматурою доцільно обробляти вогнезахисними розчинами. Їх рекомендується застосовувати у будівлях III, IIIб, IV та V.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щуко В.Ю., Рощина С.И., Репин В.А. Деревянные конструкции с рациональным армированием // Деревянные конструкции в современном строительстве: Материалы международной научно-технической конференции. - М., ЦНИИСК, 2000. - С. 4 - 5.
2. Клименко В. З. Расчет деревянных конструкций по деформациям и на прочность по деформированной схеме/ В. З. Клименко// Строительная механика и расчет сооружений/ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – 2012. – №6. – С. 69–73.
3. 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.
4. ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
5. ДБН В.2.6-161:2010 «Конструкції будинків та споруд. Дерев'яні конструкції».

**О.И. Башинский, Т.Б. Боднарчук, М.З. Пелешко**

## **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК АРМИРОВАННЫХ НАРУЖНОЙ ЛЕНТОЧНОЙ АРМАТУРОЙ**

Статья посвящена вопросам армирования деревянных конструкций. На основе экспериментальных исследований показано, что армирование деревянных балок металлической ленточной арматурой позволяет в два раза увеличить их несущую способность. Наиболее эффективным способом армирования деревянных балок ленточной арматурой является вертикальное ее размещение в плоскости действия изгибающего момента. Исследованиями показано, что комплексное применение огнезащитных растворов для древесины и металла позволит увеличить предел огнестойкости предложенных конструкций до 30 минут.

Ключевые слова: деревянные конструкции, металлическая ленточная арматура, предел огнестойкости, щгнестойкость.

**O.I. Bashynskyy, T.B. Bodnarchuk, M.Z. Peleshko**

## **THE BEARING CAPACITY AND FIRE RESISTANCE OF WOODEN BEAMS REINFORCED EXTERNAL TAPE ARMATURE**

Article is devoted to the reinforcement of wooden structures. On the basis of experimental studies have shown that the wooden beams reinforced with metal tape reinforcement allows the two to increase their carrying capacity. The most effective way of reinforcing wooden beams reinforcement tape is to set it vertically in the plane of action of bending moment. Integrated use of flame retardant solutions for wood and metal will increase the fire resistance limit of the proposed structures to 30 minutes.

Keywords: wood structure, a metal tape reinforcement, limit fire resistance, fire resistance.