

*В.М. Чирва, к.т.н., доцент  
А.А. Савченко, ст. викладач  
О.П. Сухан, ст. викладач  
Т.Ю. Гришковиць, студент*

*ДВНЗ «Криворізький національний університет»*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОСИЛЕНИХ FRP-МАТЕРІАЛАМИ, ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ПРАКТИЦІ БУДІВНИЦТВА І РЕКОНСТРУКЦІЇ**

*Наведено результати експериментальних досліджень випробовування залізобетонних конструкцій, посилених FRP-матеріалами, та доведено доцільність їх використання.*

**Ключові слова:** *FRP-матеріали, залізобетон, ламель, підсилення, несуча здатність.*

*В.М. Чирва, к.т.н., доцент  
А.А. Савченко, ст. преподаватель  
А.П. Сухан, ст. преподаватель  
Т.Ю. Гришковиць, студент*

*ГВУЗ «Криворожский национальный университет»*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ FRP- МАТЕРИАЛАМИ, И ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ**

*Приведены результаты экспериментальных исследований испытания железобетонных конструкций, усиленных FRP-материалами, и доказана целесообразность их использования.*

**Ключевые слова:** *FRP-материалы, железобетон, ламель, усиление, несущая способность.*

*V.M. Chirva, PhD, Associate Professor  
A.A. Savchenko, senior lecturer  
A.P. Suhan, senior lecturer  
T.Y. Grishkovets, student  
Krivoy Rog National University*

## **BEARING CAPACITY EXPERIMENTAL RESEARCH OF CONCRETE BEAMS REINFORCED BY FRP-MATERIALS AND ECONOMIC FEASIBILITY JUSTIFICATION OF THEIR USING IN THE PRACTICE OF CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION**

*The work presents the results of experimental research of testing concrete structures reinforced by FRP-materials and demonstrated the feasibility of their rational use.*

**Keywords:** *FRP-materials, concrete, lamella, amplification, load-bearing capacity.*

**Вступ.** У процесі експлуатації будівель і споруд будівельні конструкції пошкоджуються внаслідок корозії арматури та бетону, що призводить до зниження несучої здатності, змінюються умови експлуатації, за яких суттєво збільшуються навантаження. Це спричиняє необхідність виконання робіт з підсилення та ремонту конструкцій.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Розробленням тематики посилення залізобетонних конструкцій, особливо в промислових будівлях і спорудах, займаються багато авторів. Так, підґрунтям для цього дослідження стали статті О.Б. Голишева, І.Н. Ткаченко, В.Т. Гроздового та багатьох інших.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Традиційними способами підсилення конструкцій є збільшення їхніх перерізів за рахунок приєднання до них нових елементів, уведення шпренгелів, улаштування дублюючих елементів для розвантаження конструкцій. В умовах діючого виробництва, коли відсутні можливості зупинки виробничих процесів на довгий час, зміни об'ємно-планувального рішення, традиційні способи підсилення конструкцій не можуть бути застосовані.

Саме тому останнім часом важливе місце у сфері підсилення залізобетонних конструкцій почали займати композитні матеріали FRP. Вони являють собою композити, які складаються зі значної кількості ниткоподібних неметалевих волокон з високими показниками міцності, впресованих у матрицю з епоксидної смоли. Армування композиту найчастіше виконується вуглецевими, скляними або арамідними волокнами.

**Постановка завдання.** При підсиленні залізобетонних конструкцій композитними матеріалами можна домогтися таких результатів:

- забезпечити надійність конструкцій будівель і споруд унаслідок процесів старіння конструктивних матеріалів та розвитку дефектів арматури і бетону;
- виправлення помилок будівництва та проектування;
- підвищення довговічності окремо взятих будівельних конструкцій і будівель у цілому;
- підвищення несучої здатності елементів споруд, пов'язаного зі зміною норм проектування або початкового функціонального призначення споруд, їх статичної схеми;
- подолання наслідків пожеж, землетрусів, аварій і т. н.;
- скорочення термінів робіт з підсилення;
- збереження об'ємно-планувального рішення приміщень.

**Основний матеріал і результати.** Принцип підсилення конструкцій композитами полягає в приклеюванні за допомогою спеціального епоксидного клею на поверхню конструкцій високоміцних полотен, ламелей та сіток. Можливе посилення як конструкцій, що працюють на згин у розтягнутих зонах і на приопорних ділянках у зоні дії поперечних

сил, так і тих, які працюють на центральний стиск, а також позацентрово стиснутих елементів.

Залежно від виду композитів, способу їх застосування для підсилення конструкцій існують дві головні технологічні системи підсилення. Перша з них пов'язана з використанням листів і полотен, а друга – із застосуванням жорстких елементів у вигляді стрічок і кутників. Обидві системи підсилення виконуються вручну, належать до ефективних і порівняно простих технологій, однак їх застосування вимагає чіткого дотримання технологічних вимог і високої якості виконання робіт. З метою забезпечення цих вимог та підвищення продуктивності праці при підсиленнях виробники композитів розробляють спеціальні допоміжні технології, як правило, захищені патентами. Прикладом можуть слугувати системи підігріву склеювання, які прискорюють досягнення клеєм високих кінцевих показників міцності й застосування яких значно прискорює процес наклеювання, зокрема при застосуванні попередньо напружених стрічок. Вищевикладені способи посилення будівельних конструкцій більш детально наведено в роботах [2 – 5].

Композитні стрічки і полотна мають малу товщину (до 1,5 мм), тому після приклеювання до поверхні бетону їх покривають захисним шаром, що в результаті забезпечує високий естетичний рівень посилюваного об'єкта, одноколірні поверхні й однорідну їх фактуру.

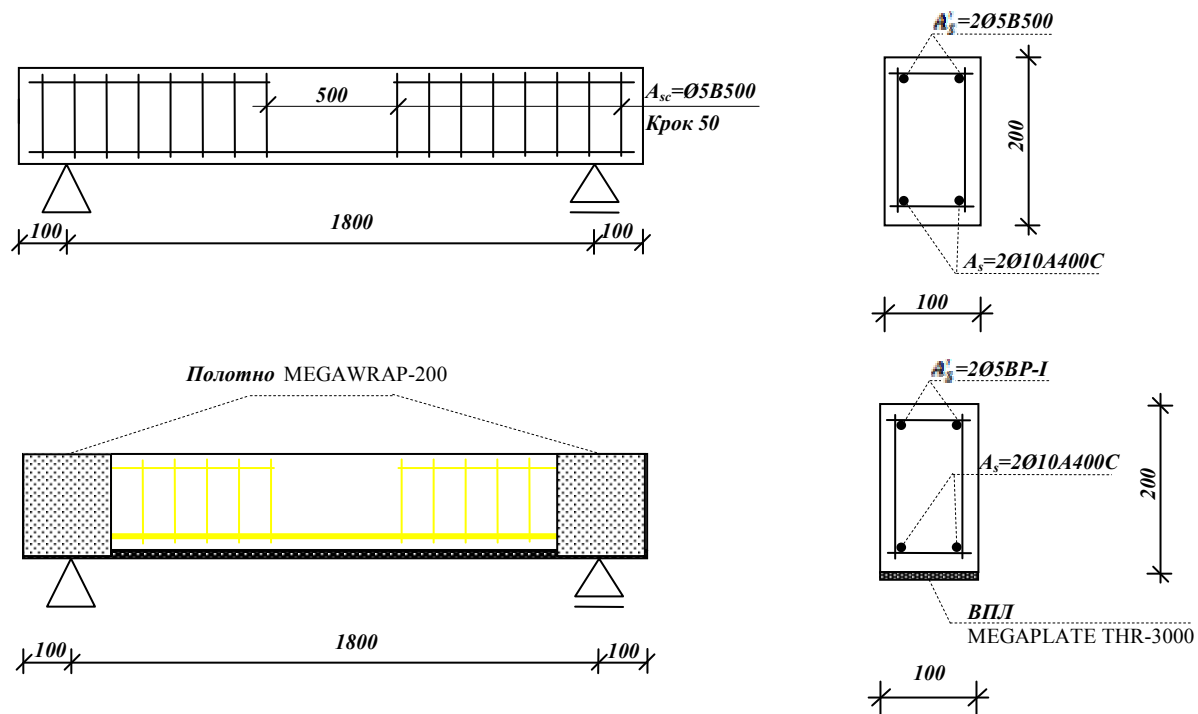
Переваги порівняно з традиційними способами посилення:

- дуже міцні матеріали (близько 2000 – 3000 МПа на розтяг);
- дуже легкі матеріали (щільність 1,8 г/см<sup>2</sup>) – не збільшують вагу конструкції;
- товщина ламінату (близько 1мм) – зберігає об'ємно-планувальні рішення;
- менші трудовитрати на виробництво робіт (не вимагає зварювання, зачekanювання, підйомних механізмів);
- можна виконувати роботи без зупинки функціонування об'єкта;
- скорочує терміни робіт мінімум удвічі.

Для експериментального дослідження були використані зразки залізобетонних балок з розмірами поперечного перерізу 100×200 мм. Номінальна довжина всіх зразків складала 2000 мм. Фізико-механічні характеристики бетону були отримані при випробуванні кубів розміром 150×150×150 мм на стискання та розколювання і призм розміром 150×150×600 мм на стискання. Середня міцність бетону складала  $f_{c,cube} = 31,3$  МПа,  $f_{c,tn} = 2,1$  МПа,  $f_{ck,prism} = 21,52$  МПа.

У кожній з балок встановлено по два арматурних стержні Ø10 мм класу А400 з межею текучості  $f_y = 398,7$  МПа та тимчасовим опором  $f_{tk} = 598$  МПа поздовжньої арматури у розтягненій зоні. Поперечну арматуру виготовлено у вигляді хомутів, встановлених із кроком 50 мм на приопорних ділянках до місця прикладення навантаження з арматурної

сталі класу А400  $\varnothing 8$  мм. Таке армування повинне виключати можливість руйнування зразків за похилими перерізами на всіх етапах навантаження. Схему армування досліджуваних балок наведено на рисунку 1.



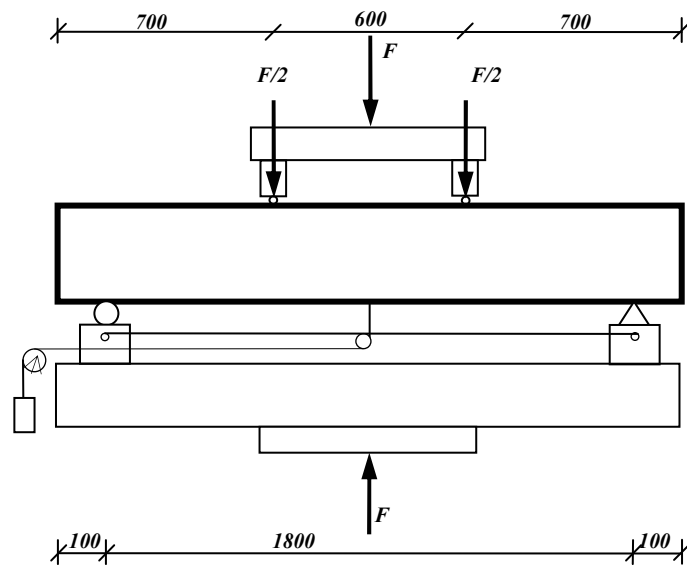
**Рис. 1. Армування та розташування елементів підсилення**

Підсилення балок виконано приклеюванням вуглецевополімерних ламелей MEGAPLATE THR-3000 з міцністю на розтяг  $f_{FPR} = 2800$  МПа та розмірами поперечного перерізу  $1,2 \times 100$  мм. Роботи виконували спеціалісти ТОВ «Придніпров'я» за нижчеописаною технологією (рис. 2). На підготовлену поверхню підсилюваних балок було нанесено шар двокомпонентного епоксидного клею EPOMAX-PL і приклеєно ламель. Додатково на приопорних ділянках улаштовано анкерування за допомогою мононаправлених вуглецевих полотен MEGAWRAP-200 шириною 300 мм у вигляді П-подібної обойми на всю висоту балки. Орієнтація волокон у полотні – перпендикулярно до поздовжньої осі балки. Усі використані для підсилення матеріали виробництва грецької фірми «ISOMAT».

Випробування балок виконували за схемою однопрогової шарнірно опертої балки з утворенням зони чистого згинання при значенні прольоту між опорами 1800 мм (рис. 3). Прогин усередині балки вимірювався за допомогою прогиноміра Максимова. Конструкція траверси і розташування прогиноміру на траверсі виконано таким чином, щоб виключити вплив зміщення її опор. Завантаження елементів поперечним статичним навантаженням здійснювалося за допомогою гідравлічного пресу ступенями 5% від руйнівного з витримкою 10 хвилин на кожному ступені навантаження.



**Рис. 2. Приклеювання елементів підсилення**



**Рис. 3. Схема прикладання навантаження до балок**

Руйнівне навантаження балок без підсилення складало 48 кН для БКС-1 та 51,9 кН для БКС-2. Руйнування відбулося в зоні чистого згину при досягненні арматурою межі текучості та бетоном стиснутої зони граничних деформацій з подрібненням бетону стиснутої зони. Характерні пошкодження досліджуваних балок наведено на рисунку 4.



**Рис. 4. Характерні пошкодження БУП-1 (вгорі) та БУП-2 (внизу)**

Підсилені балки завантажувалися ступенями по 5% від теоретичного руйнівного навантаження з витримкою між кожними кроками навантаження 5 – 10 хв. Руйнівне навантаження балок з підсиленням складало 82,5 кН для БУП-1 та 102,5 кН для БУП-2.

Перша похила тріщина виникла під точкою прикладання сили при навантаженні, що склало 45% від руйнівного, подальше збільшення навантаження призвело до появи нових похилих тріщин у напрямку опори, нормальні тріщини в зоні чистого згину з'явилися при навантаженні, близькому до 75% від руйнівного. При навантаженні 90% у зоні, де виникли похилі тріщини, почався процес відшарування клею від бетону, проте в зоні чистого згину та в приопорній частині, де було зроблено анкерування, відриву не відбулося. Подрібнення бетону стиснутої зони на ділянці чистого згину при досягненні ним граничних деформацій призвело до втрати несучої здатності. Аналогічний характер руйнування наведено в роботі [1]. Характер руйнування можна пояснити тим, що підсилення призвело до збільшення відсотка армування, напруження в арматурі та ламелі не досягли граничних значень, а бетон стиснутої зони досяг граничних деформацій. Крім того, повне закриття тріщин після розвантаження дослідних зразків свідчить про те, що напруження в арматурі не досягли межі текучості. Похилі тріщини, навпаки, повністю не

закрилися, що свідчить про появу пластичних деформацій у поперечній арматурі дослідних зразків. Наявність тріщини та значне викришування бетону виникло внаслідок довантаження зразка після появи дефектів у бетоні стиснутої зони з метою визначення характеру повного руйнування конструкції.

**Висновки.** Підсилення композитними матеріалами дозволяє значно збільшити несучу спроможність при зниженні трудомісткості й часу на виконання ремонтних робіт, зменшенні ваги самих елементів підсилення, та є перспективним методом. Отримані дані свідчать, що разом із підсиленням нормальних перерізів на дію згинального моменту необхідно вирішувати питання щодо підсилення і на дію поперечної сили.

#### *Література*

1. Конончук, О.П. *Результати експериментальних досліджень залізобетонних балок, підсиленних композитними матеріалами/ О.П.Конончук// Ресурсоекономні матеріали будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Випуск 23. – Рівне, НУВГП; 2012. – С. 479–486.*
2. *Відновлення і підсилення будівельних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niisk.com>.*
3. *Посилення будівельних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rosmaks-servis.ibud.ua>.*
4. *Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсиленних зовнішнім наклеєним композитним армуванням, на основі деформаційної моделі [Електронний ресурс] / В.Г. Кваша. – Режим доступу: <http://tib.znaimo.com.ua>.*
5. *Усиление углеволокном [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekb.rosfirm.ru>.*

*Надійшла до редакції 24.10.2013*

*© В.М. Чирва, А.А. Савченко, О.П. Сухан, Т.Ю. Гришковицець*