

# Особливості та перспективи використання технологій підсилення будівельних конструкцій композиційними матеріалами при реконструкції споруд

Ірина Руднева<sup>1</sup>, Юрій Прядко<sup>2</sup>, Микола Прядко<sup>3</sup>, Геннадій Тонкачєв<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

<sup>2</sup>Beijing International Education Institute, Пекін, Китай.  
38 east 3rd ring north road, Chaoyang, Beijing, 100026, China

<sup>3</sup>ТОВ "СВК", Київ, Україна  
7в, вул. Богданівська, Київ, Україна, 03049

<sup>1</sup>[irene\\_r@ukr.net](mailto:irene_r@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-9711-042X>

<sup>2</sup>[y.n.pryadko@gmail.com](mailto:y.n.pryadko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7163-4295>

<sup>3</sup>[pryadko\\_nv@ukr.net](mailto:pryadko_nv@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-2934-9770>

<sup>4</sup>[tonkachev@ukr.net](mailto:tonkachev@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-6589-8822>

DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.12-22

**Анотація.** Актуальність цієї статті пояснюється все більшими зусиллями, пов'язаними з реконструкцією та ревіталізацією застарілих житлових, адміністративних, промислових будівель для продовження тривалості їх експлуатації, в тому числі у разі зміни функціонального призначення будівлі чи споруди для створення об'єкту нерухомості непромислового призначення. Дуже важливим питанням є також збереження первозданної атмосфери та цілісності пам'яток архітектури, що мають переважно архітектурне та культурне значення, для використання майбутніми поколіннями. У статті розглядаються питання підсилення елементів конструкцій будівель та споруд з використанням композиційних матеріалів, представлені концепції підсилення основних типів конструкцій та технологія виробництва робіт з їх зміцнення.

У статті наведені результати детального обстеження і оцінки технічного стану залізобетонних балок покриття будівлі механічного цеху ТОВ «Електросталь», м. Курахово Донецької області, виконаний перерахунок балок покриття і розроблені конструктивні рішення по їх підсилення. Проведено порівняльний аналіз методів підсилення будівельних конструкцій зовнішнім армуванням фіброармованими системами (ФАС) і традиційного, з використанням сталевих конструкцій. Порівняно із традиційними технологіями, запропоноване рішення є менш трудомістким та більш щадним



**Ірина Руднева**  
доцент кафедри  
«Опір матеріалів»,  
к.т.н., доцент



**Юрій Прядко**  
лектор,  
к.т.н., доцент



**Микола Прядко**  
директор,  
к.т.н., доцент



**Геннадій Тонкачєв**  
проректор з  
навчально-методичної роботи,  
д.т.н., професор

з точки зору ваги балки, оскільки лише додає вагу композитної стрічки. Дана оцінка ефективності теоретично обґрунтованих методів під-

силення та прогноз перспектив застосування композитних матеріалів для підсилення будівельних конструкцій при реконструкції.

**Ключові слова.** Композиційні матеріали; фіброармовані системи; дефекти; пошкодження; реконструкція; ревіталізація; армований волокном полімер FRP; підсилення будівельних конструкцій; обстеження; залізобетонна балка покриття.

## ВСТУП

Актуальність цієї статті пояснюється все більшими зусиллями, пов'язаними з реконструкцією та ревіталізацією застарілих житлових, адміністративних, промислових будівель для продовження тривалості їх експлуатації, в тому числі у разі зміни функціонального призначення будівлі чи споруди для створення об'єкту нерухомості непромислового призначення. Дуже важливим питанням є також збереження первозданної атмосфери та цілісності пам'яток архітектури, що мають переважно архітектурне та культурне значення, для використання майбутніми поколіннями. Крім того, реконструкція допомагає задовольнити низку соціальних вимог, таких як забезпечення комфортних та безпечних умов життя людей. Огляд будівель і споруд в Україні показує, що більшість з них втратило несучу здатність під час тривалого використання, або потребує підсилення елементів будівельних конструкцій по причині їх зносу в результаті непередбачених проектом змін технології виробництва, різних пошкоджень та зміною навантажень на будівельні конструкції. У зв'язку з вищезазначеним, питання виникнення дефектів в конструкціях, і, безумовно, методи їх усунення є дуже актуальними. Тим не менше, в Україні в основному застосовуються традиційні трудомісткі методи підсилення залізобетонних, металевих та кам'яних конструкцій, що додатково збільшують їх вагу, потребують відселення людей, припинення роботи підприємств та зупинки виробничого процесу.

Безумовно перспективним напрямком у вирішенні питань підсилення будівельних

конструкцій і споруд, є використання технології зовнішнього армування композитними стрічками.

Система приклеювання елементів з композитних матеріалів призначена для збільшення несучої здатності залізобетонних, кам'яних і дерев'яних конструкцій. Основними елементами системи є стрічки з композитних матеріалів, спеціальний клей для кріплення стрічок до поверхні конструкцій та ремонтні суміші для усунення дефектів в конструкціях.

## ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ.

Тривала експлуатація будівель та їх конструктивних елементів без своєчасного технічного обслуговування та капітальних ремонтів, недостатня міцність матеріалів конструкцій, а також зміна погодних умов та діючих нормативних документів в Україні, часто призводить до необхідності перерахунку несучих конструкцій каркасу будівлі та їх підсилення максимально ефективними методами, як з точки зору надійності будівельних конструкцій, так і з погляду рентабельності, на що впливає тривале припинення роботи підприємств та зупинка виробничого процесу для виконання робіт з реконструкції.

## МЕТА РОБОТИ

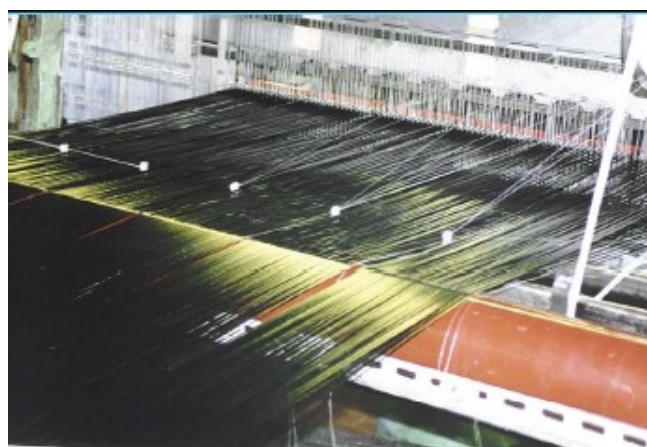
Вивчення доцільності застосування композитних матеріалів з метою зменшення ваги, збереження зовнішнього вигляду споруди після реконструкції, матеріалоємності конструкції підсилення, врахування впливу реконструкції на всіх стейкхолдерів, а також беручи до уваги економічні фактори.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Традиційні методи підсилення актуальні та ефективні, але не завжди можуть застосовуватися в разі підсилення несучих конструкцій історичних будівель, коли необхідно зберегти не тільки будівлю в цілому, але і зовнішній архітектурний вигляд споруди.

Армований волокном полімер **FRP (Fibre-reinforced polymer)** – це композиційний матеріал, виготовлений з полімерної матриці, армованої волокнами (рис.1). Во-

локна, як правило, скляні, вуглецеві, базальтові або арамідні, хоча іноді використовуються й інші волокна, такі як папір, дерево або азбест.



**Рис.1.** Зображення композиційних матеріалів (армований волокном полімер FRP).

**Fig.1.** Image representations of composite FRP materials

Необхідність використання FRP для підсилення будівельних конструкцій зумовлена механічними властивостями матеріалу, такими як високе відношення міцності до

ваги, корозійна стійкість тощо (показано в табл.1). Крім того, як матеріал, так і геометричні властивості можуть бути адаптовані для специфічного застосування.

**Табл. 1.** Механічні властивості різних типів волокон і типової сталі

**Table 1.** Fibres and steels properties

Волокна	$E_{axial} / E_{radial}$ [ГПа]	$\sigma_{max}$ [МПа]	$\varepsilon_{max}$ [%]	$\nu$	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Ціна [€/kg]
<b>Вуглець з високим модулем пружності (HM carbon)</b>	380/12	2400	2.6	0.2	1.95	20-60
<b>Вуглець високої міцності (HS carbon)</b>	230/12	3400	1.1	0.2	1.75	20-60
<b>Скло</b>	76/76	2000	2.6	0.22	2.6	1.5-3
<b>Арамід</b>	130/10	3000	2.3	0.35	1.45	20-35
<b>Базальт</b>	89/NA	4800	3.15	NA	2.75	NA
<b>Сталь</b>	200-220	400			7.9	5-10

Властивості різних волокон та типової сталі наведені на рис.2, [1].

Підсилення будівельних конструкцій елементами зовнішнього армування з високоміцних волокон застосовується в Європі більше 45 років, але для України, на жаль, це матеріал, який наразі немає широкого застосування. Його основні переваги наступні:

- сумісна робота елемента зовнішнього армування з підсилюваною конструкцією, на всіх етапах її навантаження (така робота забезпечується надійним клейовим з'єднанням);
- висока довговічність і стійкість до корозії;
- високі механічні характеристики (міцність і модуль пружності) матеріалів (таблиця 1), що становлять систему підсилення;
- простота монтажу і мала власна вага тощо.

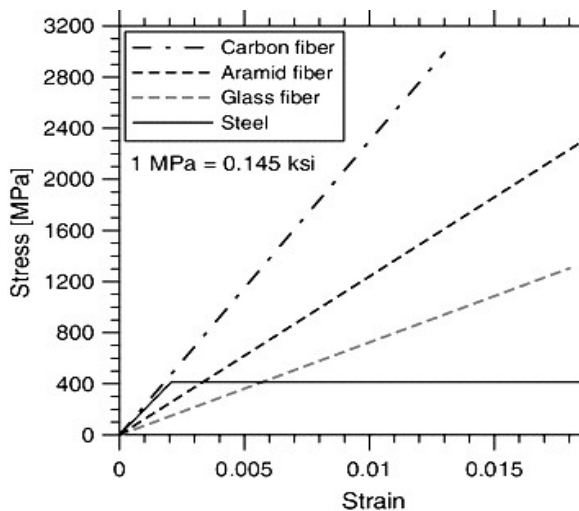


Рис.2. Властивості різних волокон і типової сталі.

Fig.2. Properties of different fibers and typical steel.

### Основні вимоги при використанні композиційних матеріалів .

- Зовнішні ФАС використовуються для поздовжнього і поперечного армування стержневих елементів, для створення армуючих підсилюючих оболонок на колонах і опорах мостів, естакад, консолях колон, для підсилення плит, оболонок, елементів ферм та інших конструкцій [5].

- Максимальна експлуатаційна температура роботи ФАС не повинна перевищувати температуру склування полімерної матриці і клею (орієнтовно 60-150 ° C).

- Раціональним ступенем підсилення за допомогою системи ФАС є діапазон 10-60% від початкової несучої здатності підсилюваної конструкції.

- Система підсилення ФАС може застосовуватися, якщо фактична міцність на стиск бетону конструкції становить не менше 15 МПа. Це обмеження не поширюється на підсилення стиснених і позацентрово стиснутих елементів.

- Міцність основи є вирішальним фактором для тих випадків підсилення, коли зчеплення має визначальне значення, наприклад, при підсиленні на згин або зріз (поперечне армування). У цих випадках міцність основи на стиск повинна бути щонайменше 15 МПа. Вказане значення мінімальної міцності не відноситься до тих за-

дач, коли визначальним є контактний зв'язок, наприклад, при підсиленні колон шляхом обгортання їх підсилюючою стрічкою. В цьому випадку мінімальне значення міцності на стиск бетону може бути рівним 10,0 МПа.

- При наявності результатів обстеження підсилюваних конструкцій, призначення характеристик бетону та арматури здійснюють з урахуванням вимог ДСТУ Б В.3.1-2: 2016 [4], [5], [6].

- При проектуванні підсилення залізо-бетонних конструкцій з використанням зовнішнього армування з ФАС використовується метод розрахунку за граничними станами.

- Система підсилення на основі ФАС повинна проектуватися на сприймання розтягуючих зусиль з урахуванням сумісності деформацій зовнішньої арматури і бетону конструкції.

- **Технологія виробництва робіт.** Система підсилення ФАС включає в себе ґрунтовки бетонних поверхонь, шпаклювальні суміші, адгезиви, одно або двонаправлені тканини або ламінати.

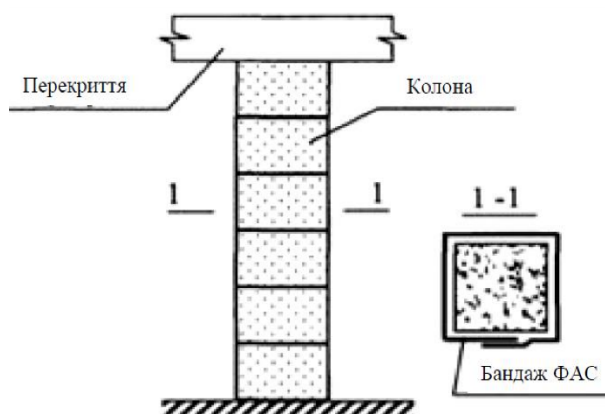
- Ґрунтовки наносять на всю обклеювану поверхню для пропитки бетонної основи та забезпечення необхідного зчеплення адгезиву і пропитуючої тканини суміші з бетонною поверхнею.

- Використання системи ФАС не зупиняє процесів корозії арматурної сталі в бетоні. Тому перед підсиленням конструкції необхідно обробити бетонну поверхню мігруючим інгібітором корозії арматурної сталі, а при відділенні захисного шару - оголити арматуру і обробити її ґрунтотперетворювачем іржі і потім відновити захисний шар спеціальними полімерцементними ремонтними складами, що забезпечують високу адгезію до «старого» бетону.

### Принципові схеми підсилення основних типів конструкцій.

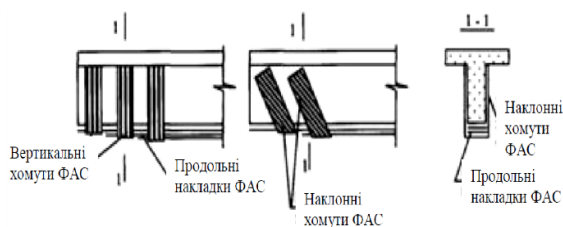
Підсилення стислих і позацентрово стиснутих конструкцій (колони, простінки) здійснюється шляхом влаштування навколо перерізу бандажів з напрямком волокон перпендикулярно поздовжній осі

підсилюваної конструкції. Бандажі встановлюються по всій висоті конструкції (рис.3).



**Рис.3.** Принципова схема підсилення колони.  
**Fig.3.** Schematic diagram of column strengthening.

Згинні балкові конструкції підсилюють шляхом наклеювання ФАС на нижню поверхню ребра з напрямком волокон уздовж осі підсилюваної конструкції й вертикальних або похилих хомутів у приопорній зоні з напрямком волокон перпендикулярно до поздовжньої осі (рис. 4).



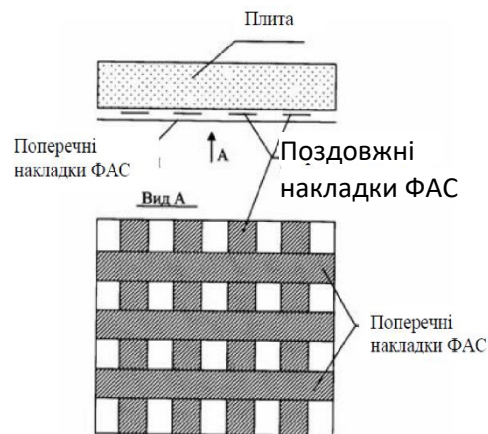
**Рис.4.** Принципова схема підсилення балки.  
**Fig.4.** Schematic diagram of beam strengthening.

Плитні конструкції підсилюють наклеюванням на нижню поверхню накладок ФАС із напрямком волокон уздовж осі конструкції й поверх них поперечних накладок з напрямком волокон перпендикулярно до поздовжніх накладок (рис. 5).

#### Підготовка основи для наклеювання

Під терміном «основа» розуміють поверхню бетону, на яку наклеюють підсилювальний елемент – ламінат або тканину.

Основа має відповідати певним геометричним, механічним і фізико-хімічним критеріям. До наклеювання підсилювальних елементів (стрічок, тканини, ламінатів) поверхню основи потрібно вирівняти, а локальні геометричні дефекти усунути.



**Рис.5.** Принципова схема підсилення плит.  
**Fig.5.** Schematic diagram of slab strengthening.

На поверхню основи крейдою наносять лінії розмітки відповідно до ухваленої у проекті схеми наклеювання елементів підсилення.

Поверхню бетону потрібно очистити від фарби, масла, жирних плям, цементної плівки.

Очищують поверхню за допомогою піскоструминної обробки або металевими щітками з подальшим високонапірним промиванням водою (під тиском не менше ніж 100 атм.).

Для кращого зчеплення адгезиву з бетоном, поверхня основи має бути шорсткуватою. Цього досягають обробкою поверхні бетону каменотесним долотом з подальшим зачищенням металевою щіткою. Обробляти потрібно тільки поверхневий шар до оголення на поверхні заповнювача.

Після очищення поверхню бетону обробляють ґрунтувальною сумішшю з метою зміцнення основи й поліпшення зчеплення адгезиву з бетонною поверхнею.

Неплощинність поверхні має бути менше 5 мм на базі 2 м або 1 мм на базі 0,3 м. Дрібні дефекти (відколи, раковини,

каверни) не мають бути глибше ніж 5 мм і площею не більше ніж 25 см<sup>2</sup>. Такі дефекти потрібно усунути за допомогою полімерцементних ремонтних сумішей зі швидким набором міцності. Вирівнювання значних (більше ніж 25 см<sup>2</sup>) ділянок поверхні про-

водять з використанням полімерцементних ремонтних сумішей з наповнювачем у вигляді піску й дрібного щебеню.

У випадку руйнування (відшарування) захисного шару бетону в результаті корозії арматури слід вилучити його, очистити оголену арматуру від продуктів корозії, обробити її перетворювачем іржі й після цього відновити захисний шар спеціальними ремонтними сумішами.

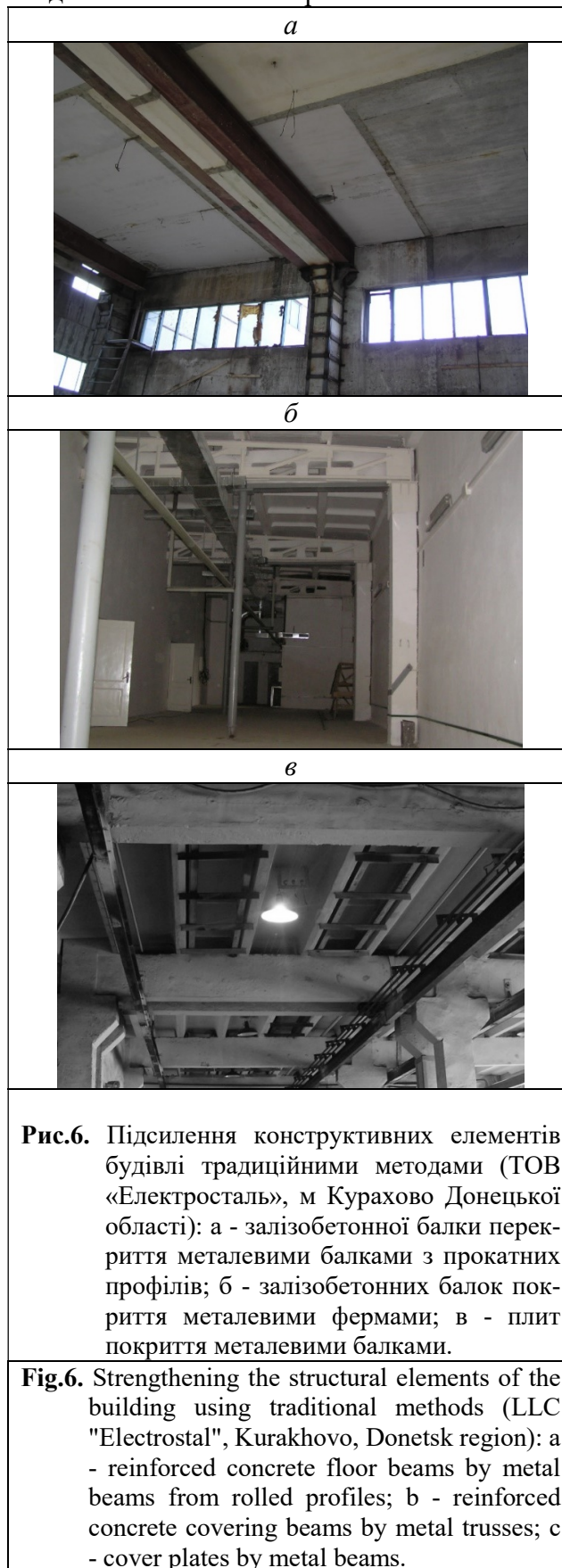
Тріщини з розкриттям більшим за 0,3 мм потрібно відремонтувати низьков'язкими епоксидними або поліуретановими сумішами, тріщини з меншим розкриттям можна затерти полімерцементним розчином.

Значний ефект від підсилення конструкцій композитними матеріалами може бути досягнутий при підсиленні балок і плит покриття промислових будівель, які при підсиленні традиційними методами вимагають складних конструктивних рішень, великих витрат праці, зупинки технологічного процесу виробництва для виконання робіт із підсилення, вага підсилюючої конструкції часто виявляється значною (рис.6) [3].

Застосування композитних матеріалів для підсилення конструкцій вимагає лише встановлення легких подмостей (можлива робота з автопідйомників) і не займає багато часу (рис.7).

**Для вибору найбільш ефективного методу підсилення та через перераховані вище переваги фіброармованих систем, проаналізовано два методи підсилення елементів конструкцій: традиційним способом - з використанням металу, та альтернативним способом - з використанням композитних матеріалів, на прикладі залізобетонної балки покриття механічного цеху ТОВ «Електросталь», м. Курахово Донецької області. Попередньо було вико-**

нано обстеження балок покриття, яке проводилося з мостового крана.



**Рис.6.** Підсилення конструктивних елементів будівлі традиційними методами (ТОВ «Електросталь», м Курахово Донецької області): а - залізобетонної балки покриття металевими балками з прокатних профілів; б - залізобетонних балок покриття металевими фермами; в - плит покриття металевими балками.

**Fig.6.** Strengthening the structural elements of the building using traditional methods (LLC "Electrostal", Kurakhovo, Donetsk region): a - reinforced concrete floor beams by metal beams from rolled profiles; b - reinforced concrete covering beams by metal trusses; c - cover plates by metal beams.



**Рис.7.** Підсилення поздовжніх і поперечних ребер залізобетонних плит покриття зовнішнім армуванням композитним матеріалом на основі вуглецевих волокон.

**Fig.7.** Longitudinal and transverse ribs strengthening of reinforced concrete coating slabs using external reinforcement with a FRP.

Балки покриття - збірні залізобетонні з паралельними поясами суцільного перерізу висотою 960мм, мають відколи граней (рис.8), каверни з оголенням робочої арматури, отримані в результаті неякісного бетонування, прогини, що перевищують гранично допустимі значення, окремі вертикальні тріщини різної величини розкриття (рис.9).

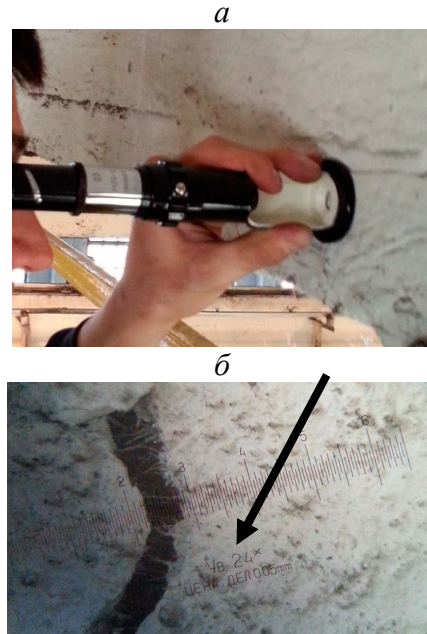


**Рис.8.** Відкол бетону в полиці залізобетонної балки в місці обпирання на балку поздовжнього ребра плити покриття.

**Fig.8.** Cement chipped in a reinforced concrete beam shelf at the point where the longitudinal rib of the covering slab rests on the beam.

Міцність бетону балки визначалася за допомогою приладу «Онiкс-2,5», базується на кореляційній залежності параметрів ударного імпульсу від пружно-пластичних властивостей контрольованого матеріалу

(рис.10). Для подальших розрахунків і прийняття обґрунтованого рішення про стан балок покриття прольоту «А-Б», після серії проб, прийнятий мінімальний клас міцності бетону - С10 / 12,5.



**Рис.9.** Визначення ширини розкриття тріщини в балці покриття за допомогою мікроскопа Мир -2: а – загальний вид, б – вид тріщини в мікроскопі

**Fig.9.** Determination of the crack opening width in the coating beam using the Mir-2 microscope: a - general view, b - crack view in a microscope



**Рис.10.** Визначення міцності бетону приладом «Онiкс-2,5» в балці покриття.

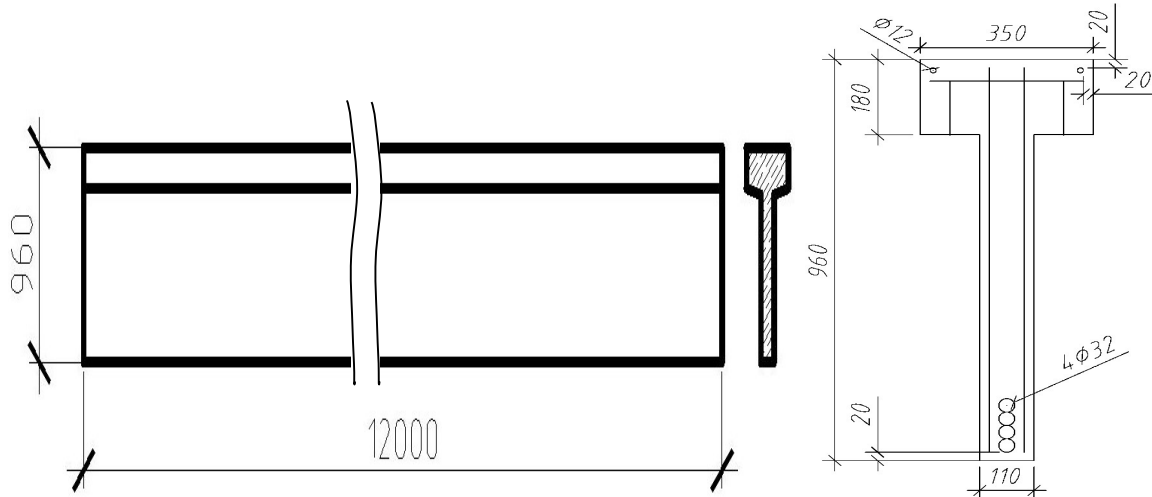
**Fig.10.** Determination of the strength of concrete with the device "Onyx-2.5" in the covering beam.

Встановлено, що балки по нижньому поясу армовані чотирма арматурами періодичного профілю діаметром 32мм (рис.11). Для подальших розрахунків клас арматури - ст.5, прийнятий відповідно до проекту і

відповідає класу А-II згідно СНиП 2.03.01-84 \* «Бетонні і залізобетонні конструкції».

Після проведення аналізу та перерахунків зусиль за допомогою ПК СКАД відповідно до методики СНиП 2.03.01-84 \*, ви-

значено що несуча здатність балки за нормальними і похилих перерізах не забезпечена. Отже необхідне підсилення конструкції по нормальним і похилих перерізах.

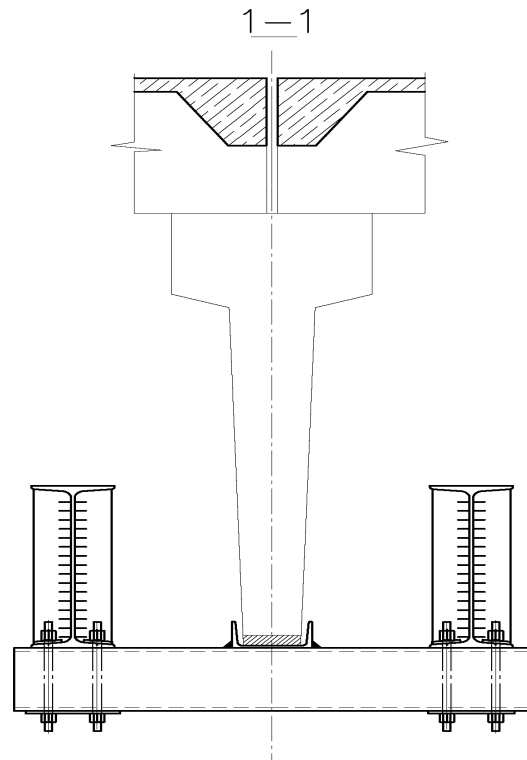


**Рис.11.** Залізобетонна балка покриття L = 12м в прольоті «А-Б». Переріз балки.  
**Fig.11.** Reinforced concrete covering beam L = 12m. Section of the beam.

Після розрахунку підсилення балок були прийняті наступні конструктивні рішення:

- В якості **традиційного способу** підсилення балки прийнятий метод підведення підтримуючих балок з двотаврів № 36 (рис.12).

- При застосуванні в якості підсилюючої конструкції **композитних матеріалів** прийнято наступне: для забезпечення міцності нормальних до поздовжньої осі перерізів необхідна наклейка **стрічки з вуглеволокна SikaWrap-230 C-45** знизу ребра балки по всій довжині конструкції. **Ширина стрічки 100мм.** Наклейку здійснювати в **1 шар**, із застосуванням епоксидного клею **Sikadur-330**. Таким чином несуча здатність балки відновлена, а запас міцності забезпечений і становить 17,8% від діючих зусиль (звичайно, при достатній міцності бетону існуючої балки).



**Рис.12.** Підведення розвантажуючих двотаврових балок № 36.

**Fig.12.** Application of unloading I-beams No. 36.



## ВИСНОВКИ

В результаті розрахунків визначено наступне:

1. При використанні традиційного методу для повного розвантаження шляхом підведення розвантажувальних балок, застосувалися дві сталеві двотаврові балки №36;

2. В разі застосування композитного матеріалу використовувалися стрічки фірми SikaWrap-230 C-45  $L = 12\text{ м}$   $b = 100\text{ мм}$ . і хомути  $L = 1,7\text{ м}$   $b = 300\text{ мм}$ .

3. В результаті підсилення, збільшення критичного моменту  $M_{ult}$  за нормальними перерізах змінилося з 555кНм до 677,8, і склало 122 кНм, запас міцності 17,8%.

4. Критичне поперечне зусилля  $Q_{ult}$  збільшилося с 168,9кН до 196,33 кН, і склало 27,43 кН. Запас міцності по похилих перерізах збільшився на 2,2%.

5. Дослідивши та проаналізувавши вищенаведену роботу, можна провести порівняльний аналіз двох способів підсилення:

**Табл. 1.** Порівняльний аналіз двох способів підсилення залізобетонних конструкцій.

**Table 1.** Comparative analysis of two strengthening methods of reinforced concrete structures.

Підсилення конструкцій із застосуванням сталі		Підсилення конструкцій композитними матеріалами	
Переваги	Недоліки	Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>- сталь має відносно низьку вартість;</li> <li>- сталеві елементи є достатньо універсальними;</li> <li>- сталеві елементи володіють достатньою втомною міцністю;</li> <li>- є величезна нормативно-дослідна база.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- можлива корозія сталевих елементів;</li> <li>- сталеві елементи мають значну вагу;</li> <li>- висока трудомісткість роботи, що тягне високу вартість робочої сили;</li> <li>- для виконання робіт потрібні майданчики великих розмірів;</li> <li>- сталеві елементи обмежені в розмірах.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- відмінна стійкість до корозії;</li> <li>- композитні панелі мають унікальну міцність на розтяг, на порядок вище, ніж сталеві, а також мають дуже високу втомну міцність;</li> <li>- швидкість процесу монтажу;</li> <li>- не потрібно влаштування робочих майданчиків (роботи можуть виконуватися з автопідйомника);</li> <li>- просте з'єднання композитного матеріалу з підсилюваним елементом за допомогою клею;</li> <li>- дуже дбайливий метод (без пошкодження підсилюваної конструкції);</li> <li>- можливість проводити роботи без зупинки основного виробництва підприємства</li> <li>- мала вага матеріалу.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- відносно висока вартість;</li> <li>- необхідність захисту від вогню;</li> <li>- малий обсяг нормативно-дослідної бази.</li> </ul>

Проаналізувавши таблицю 2, очевидно, що **використання фіброармованих систем** для підсилення залізобетонних конструкцій є **дуже ефективним та перспективним напрямком при реконструкції будівель і споруд**, однак потребує детального вивчення питання надійності та довговічності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kang, T.H.K., Kim, W., Ha, S.S. et al. Hybrid Effects of Carbon-Glass FRP Sheets in Combination with or without Concrete Beams. *International Journal of Concrete*

*Structures and Materials*, 8, 27–41 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0061-0>

2. CNR-DT 200/2004. «Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures». *Materials, RC and PC structures, masonry structures. ROME – CNR, 2004. 154 p.*

3. М.В. Прядко, І.М. Руднева, Ю.М. Прядко. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель: *Навчальний посібник. – Київ: КНУБА, 2018. – 332 с.*

4. І. Руднева, Ю. Прядко, М. Прядко. Аналіз причин обвалення покрівель виробничих будівель. *Збірник наукових праць "Будівельні*

конструкції. *Теорія і практика*". № 6 (2020), с.85-93.

<https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.85-93>

5. **ACI 440.2R-08**. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening of Concrete Structures. Michigan: American Concrete Institute, ACI Committee 440: 2008, 76 p.
6. **ДСТУ Б В.3.1-2:2016**. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. Київ, 2017. – 68с.
7. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1984. - 36 с.
8. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ЦНИИСК им. Кучеренко. М., 2003.
9. **ДБН В.1.2-14:2018**. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. / *Мінрегіонбуд України*. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.
10. **ДБН В.2.6-98:2009**. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Нормы проектирования. Киев, 2011.- 75с.
11. **ДСТУ Б В.1.2-3:2006**. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. / *Мінбуд України*. – К.: *Сталь*, 2006.
12. **ДБН В.1.2-2:2006**. Навантаження і впливи. Норми проектування / *Мінбудархітектури України*. – К.: *Сталь*, 2006.
13. **Di Tommaso Angelo, Focacci Francesco, Micelli Francesco**. Strengthening Historical Masonry with FRP or FRCM: Trends in Design Approach. – *Key Engineering Materials, July 2017*  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.747.166
14. **Н. Прядко, Г. Шамрина, Ю. Прядко, И. Руднева**. Усиление конструкций фундаментов жилого дома // *Журнал «Проблеми розвитку міського середовища»*. - 2014. - Вип. 2. - С. 14-22.
15. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. АО ЦНИИПромзданий. – М.: 1997.- 141с.
16. **ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016** Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44 с.
17. <http://fibrebuilt.fibrenet.it/en/historic-building/consolidating-masonry/>

## REFERENCES

1. **Kang, T.H.K., Kim, W., Ha, S.S. et al.** Hybrid Effects of Carbon-Glass FRP Sheets in Combination with or without Concrete Beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8, 27–41 (2014).  
<https://doi.org/10.1007/s40069-013-0061-0>
2. **CNR-DT 200/2004**. «Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures». *Materials, RC and PC structures, masonry structures. ROME – CNR, 2004. 154 p.*
3. **M.V. Priadko, I.M. Rudnieva, Yu.M. Priadko**. Obstezhennia ta pidsylennia budivelnnykh konstrukttsii promyslovykh budivel: *Navchalnyi posibnyk*. – Kyiv: *KNUBA*, 2018. – 332 s.
4. **I. Rudnieva, Yu. Priadko, M. Priadko**. Analiz prychn obvalennia pokryvel vyrobnychykh budivel. *Zbirnyk naukovykh prats "Budivelni konstrukttsii. Teoriia i praktyka"*. № 6 (2020), с.85-93.  
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.85-93>
5. **ACI 440.2R-08**. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening of Concrete Structures. Michigan: American Concrete Institute, ACI Committee 440: 2008, 76 p.
6. **DSTU B V.3.1-2:2016**. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhualnykh budivelnnykh konstrukttsii ta osnov budivel i sporud. *Kyiv*, 2017. – 68s.
7. Rekomendatsyy po usyleniyu kamennykh konstrukttsiy zdanyi y sooruzheniy // *TsNYYSK ym. V.A. Kucherenko. M.: Stroiyzdat, 1984. - 36 s.*
8. Rukovodstvo po usyleniyu zhelezobetonnykh konstrukttsiy kompozytnymu materyalamy. *TsNYYSK ym. Kucherenko. M., 2003.*
9. **DBN V.1.2-14:2018**. Zahalni pryntsyupy zabespechennia nadiinosti ta konstrukttyv-noi bezpeky budivel, sporud, budivelnnykh konstrukttsii ta osnov. / *Minrehionbud Ukrainy*. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018
10. **DBN V.2.6-98:2009**. Бетонные и железобетонные конструкты. Основные положения. *Нормы проекtyrovanyia. Kyev, 2011.- 75с.*
11. **DSTU B V.1.2-3:2006**. Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia. / *Minbud Ukrainy*. – К.: *Stal*, 2006.

12. **DBN V.1.2-2:2006.** Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia / *Minbudarkhitektury Ukrainy*. – K.: Stal, 2006.
13. **Di Tommaso Angelo, Focacci Francesco, Micelli Francesco.** Strengthening Historical Masonry with FRP or FRCM: Trends in Design Approach. – *Key Engineering Materials*, July 2017  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.747.166
14. **N. Priadko, H. Shamryna, Yu. Priadko, I. Rudnieva.** Usylenye konstruktsiyi fundamentov zhyloho doma // *Zhurnal «Problemy rozvytku miskoho seredovyschcha»*. - 2014. - Vyp. 2. - S. 14-22.
15. Posobye po obsledovaniyu stroytelnykh konstruktsiyi zdanyi. *AO TsNYYPromzdanyi*. – M.: 1997.- 141s.
16. **DSTU-N B V.1.2-18:2016** Nastanova shcho-do obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. – Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2017. – 44 s.
17. <http://fibrebuilt.fibrenet.it/en/historic-building/consolidating-masonry/>

**Features and prospects for the use of technologies for strengthening building structures with composite FRP-materials during reconstruction of buildings.**

*Iryna Rudnieva, Iurii Priadko,  
Nikolay Priadko, Hennadii Tonkacheiev*

**Summary.** The relevance of this article is explained by the increasing difficulty associated with the reconstruction and revitalization of outdated residential, administrative, industrial buildings to extend their operation, including in the case of a change in the functional purpose of a building or structure to create a non-industrial property

A very important issue is also the preservation of the pristine atmosphere and integrity of architectural monuments, which are predominantly of architectural and cultural importance for the use of future generations. The article discusses the issues of strengthening structural elements of buildings and structures using composite materials, presented the concept of strengthening the main types of structures and the technology of work to strengthen them.

The article presents the results of a detailed examination and technical evaluations of reinforced concrete coating beams of the mechanical workshop building of LLC "Elektrostal", Kurakhovo city, Donetsk region, recalculation of the covering beams was carried out and constructive solutions for their strengthening were developed. A comparative analysis of methods of strengthening building structures using external reinforcement by FRP-systems and traditional, using steel structures, is carried out. Compared to traditional technologies, the proposed solution is less labor-intensive and more gentle in terms of beam weight, since it only adds weight from the composite tape.

An assessment of the effectiveness of theoretically substantiated reinforcement methods and a forecast of the prospects for using FRP-materials to strengthen building structures during reconstruction are given.

**Keywords:** Composite materials; defects; damage; reconstruction; revitalization; fibre-reinforced polymer FRP; strengthening of building structures; inspection; reinforced concrete coating beam