

УДК 624.012.45

Вегера П.І., к.т.н. доцент Хміль Р.Є.,  
д.т.н. професор Бліхарський З.Я.,  
Національний університет «Львівська політехніка»

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ СПОСОБІВ ПІДСИЛЕННЯ ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗІВ В ЗГИНАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ**

*Проводиться огляд основних типів підсилення похилих перерізів залізобетонних балок та порівняння з сучасними способами підсилення, які базуються на використанні високоміцних композитних матеріалів.*

**Ключові слова:** підсилення, похилі перерізи, залізобетонна балка.

**Постановка проблеми:** З розвитком науки і техніки відбувається подальший прогрес в будівництві, який супроводжується вдосконаленням вже існуючих технологій та методів, залученням до використання матеріалів, котрі раніше не використовували. Сучасні композитні матеріали, з високими характеристиками міцності та деформативності, дозволяють значно ефективніше виконувати підсилення конструкцій, проте такі способи підсилення є мало дослідженими.

**Мета та завдання досліджень:** Розглянути основні способи підсилення похилих перерізів залізобетонних балок та порівняти їх з варіантами підсилення похилих перерізів за допомогою сучасних композитних матеріалів.

**Огляд класичних методів підсилення похилих перерізів залізобетонних конструкцій.** Найбільш дослідженими та використовуваними методами підсилення похилих перерізів залізобетонних балок є: сорочка підсилення (виконується бетонна чи залізобетонна) та обойма підсилення (додатково може виконуватись металевою). Бетонна чи залізобетонна система підсилення похилих перерізів залізобетонних балок зазвичай виконується в комплексі з підсиленням нормальних перерізів. Виконання підсилення похилих перерізів забезпечується влаштуванням додаткової поперечної арматури, яка вкладається в пази [1] та виконується замонолічування всієї небезпечної зони (рис.1). При недостатній зоні анкерування похилих стержнів, виконується приварювання їх до існуючого каркасу балки. Підсилення забезпечує повноцінне сприйняття поперечної сили похилою арматурою, що є ефективним способом підсилення.

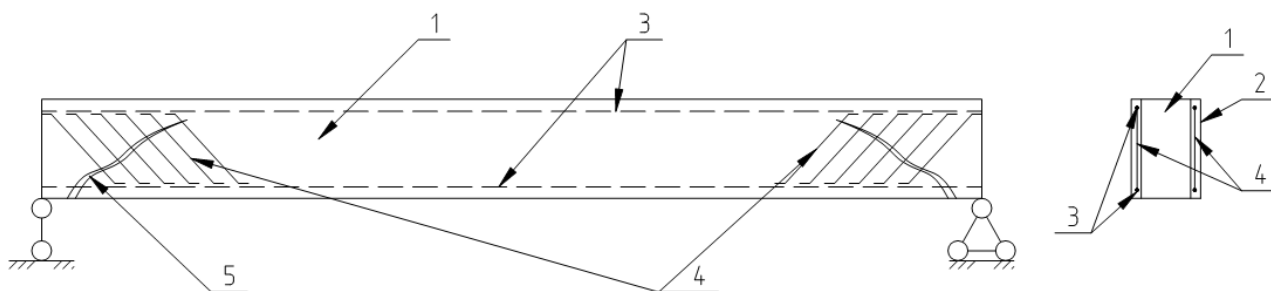


Рис.1 Встановлення додаткових похилих стержнів:

1 – балка, яка потребує підсилення; 2 – цементно-піщаний розчин чи дрібнозернистий бетон;  
3 – існуюча робоча арматура балки; 4 – додаткові похилі арматурні стержні; 5 – існуючі похилі тріщини

Більш поширеним є виконання підсилення похилих перерізів у складі загального підсилення балки залізобетонною обіймою. Поперечна арматура (похила чи вертикальна) влаштовується в загальний каркас підсилення [2,3,4]. Поряд з високою ефективністю такого підсилення, воно є доволі трудомістким, через необхідність встановлення опалубки та виконання зварювальних робіт безпосередньо на посилюваних елементах, що не завжди можливо. Виконання таких робіт потребують огороження місця виконання, що перекриває доступ до певної зони приміщення, на термін 2-4 дні. Ще одним суттєвим недоліком є те що влаштування залізобетонної обійми передбачає збільшення поперечного перерізу балки з всіх площин. Таким чином необхідно забезпечити доступ до всіх поверхонь елемента, що є трудоємким та ускладнює подальшу експлуатацію елемента. Несуча здатність похилих перерізів після такого підсилення збільшується на 40-60%. При виконанні підсилення самим лише бетоном, виконують підсилення лише стиснутої зони балки, на її верхній грані [5]. Даний тип підсилення значно менше трудоємкий і має досить високу ефективність, проте основним недоліком є необхідність демонтажу вище лежачих конструкцій та технологічного розриву. Підсилення бетонним нарощуванням стиснутої зони балки показує підвищення несучої здатності на 25-30%. Найбільш ефективним з точки зору трудоємкості є підсилення похилих перерізів з використанням металевої обійми [6,7] (рис. 2). Такий тип підсилення легко виконується та дає високу ефективність за рахунок попереднього напруження поперечної арматури. Значно (на 60% і більше) збільшується тріщиностійкість похилих перерізів і таким типом підсилення можна досягти 35 - 50% збільшення несучої здатності похилих перерізів залізобетонних балок. Значним недоліком металевої обійми є необхідність захисту металевих елементів та їх закріплення, яке, як і в випадку з залізобетонною обіймою, вимагає виконання інженерних заходів щодо доступу до поверхні стиснутої зони балки.

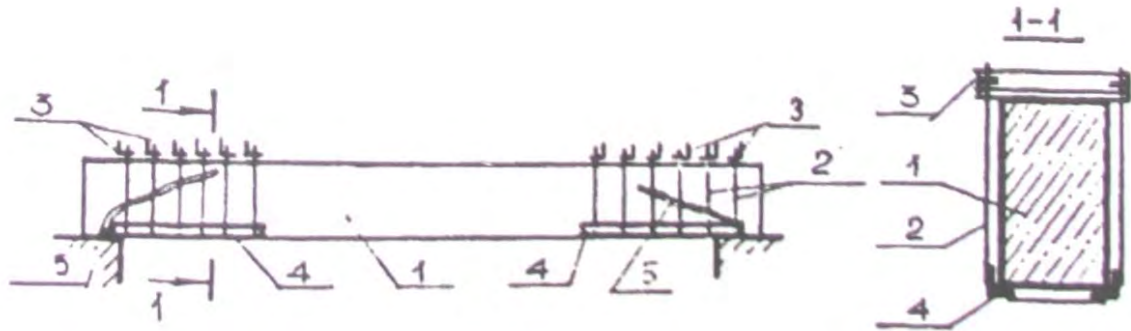


Рис. 2. Металева обойма підсилення похилих перерізів залізобетонної балки:  
1 – балка підсилення; 2 – хомути з гайками; 3 – поперечні кутники;  
4 – поздовжні кутники; 5 – тріщини в балці

Отже класичні способи підсилення залізобетонних елементів дають високі показники ефективності проте потребують значної трудомісткості та часу виконання.

**Огляд методів підсилення похилих перерізів з використанням композитних матеріалів.** На відміну від вище описаних методів нарощування перерізу, підсилення з використанням композитних матеріалів мало вивчене, особливо в Україні. Такі матеріали характеризуються високими значеннями деформативності та міцності матеріалу, мають високу корозостійкість та легкість монтажу, фактично не змінюють геометричні розміри поперечного перерізу елемента [8]. При високоміцних параметрах композитні матеріали не мають обмеження в виборі типу схеми підсилення (рис. 3).

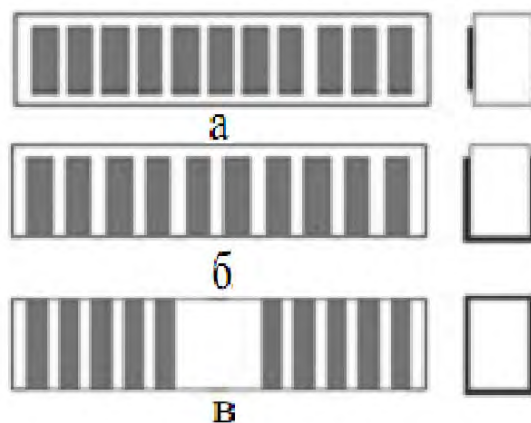


Рис. 3. Основні типи наклеювання композитних матеріалів:  
а – наклеювання на бокову поверхню; б – U-подібне наклеювання;  
в – повне наклеювання (обоймою)

Широка варіативність використання композитних матеріалів дозволяє підібрати необхідну схему підсилення, яка буде найбільше задовольняти вимоги міцності, деформативності та затрат по її виконанню. Усі композитні

матеріали, які використовуються для підсилення залізобетонних балок, зокрема для підсилення похилих перерізів, поділяють на дві групи:

- матеріали CFRP (CarbonFibroReinforcedPolymer), що перекладається як «посилене вуглеволокно»
- та матеріали FRCM (FiberReinforcedCementMatrix) що в перекладі «фібро волокно втоплене в цемент».

Різниця між ними полягає в тому, що система CFRP це високоміцні композитні матеріали, які фіксуються на елементі підсилення з допомогою синтетичного клею, як правило епоксидного (наприклад стрічка SikaCarboDur[11]). Другий тип композитних матеріалів виготовляється у вигляді тканини, яку з допомогою модифікованих мінеральних сумішей, на основі цементу, наносять на конструкцію (наприклад кевларова тканина RuredilXmeshGold[12]). Кожна з груп має своє функціональне призначення і використовується в залежності від прийнятої схеми підсилення (рис. 4).

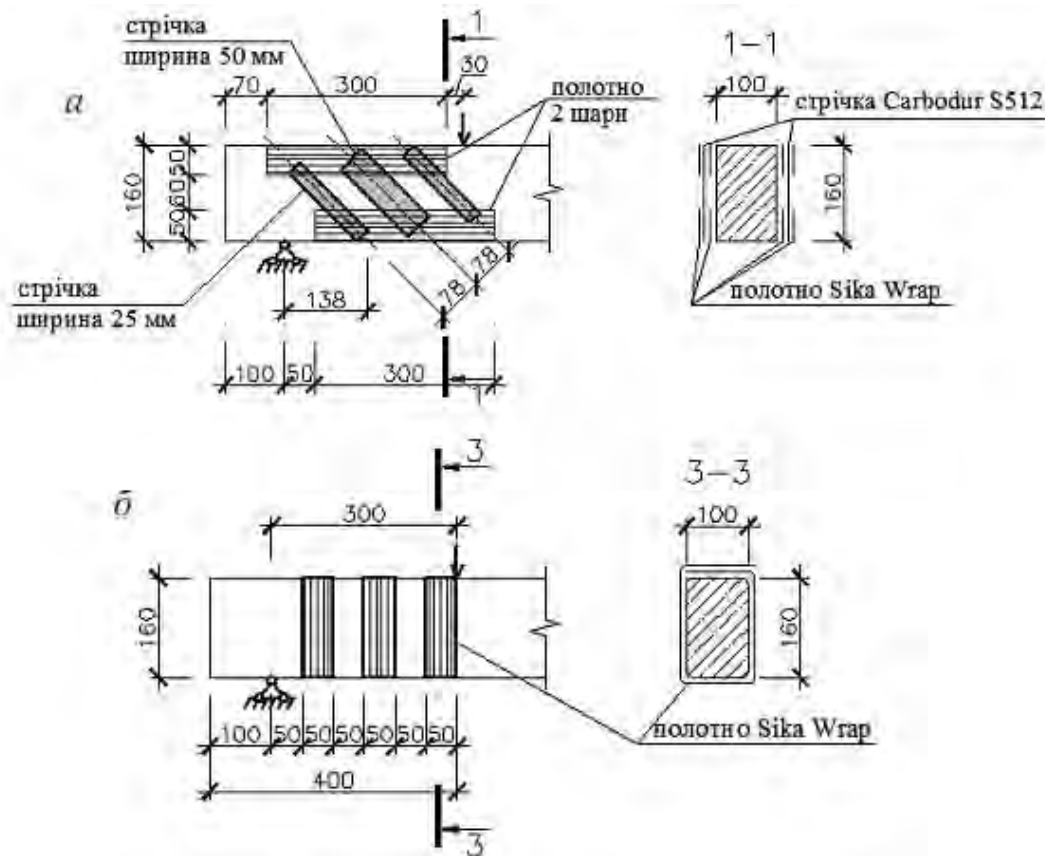


Рис. 4. Приклади застосування композитних матеріалів:  
 а – наклеювання CFRP стрічки з анкеруванням FRCM матеріалом;  
 б – наклеювання FRCM матеріалу

Незважаючи на істотні переваги композитних матеріалів, вони є мало досліджені в Україні. Головною перешкодою в їх дослідженню і впровадженню до застосування є їх висока вартість. Хоча як показує європейська практика для

підсилення моста в Швейцарії було використано 6,2 кг стрічок. Для досягнення еквівалентного ефекту підсилення необхідно застосувати 175 кг металевих виробів, що значно дорожче та трудомікше [13].

Отже композитні матеріали дозволяють, в залежності від прийнятої схеми підсилення (CFRP чи FRCM), отримати збільшення несучої здатності похилих перерізів в згинаних елементах на 20-35%.

**Порівняльна характеристика матеріалів підсилення згинаних залізобетонних елементів.** Розглядаючи наведені вище характеристики матеріалів можна зробити висновки, що композитні матеріали мають значно вищу варіативність в використанні способу підсилення. Традиційні матеріали (бетонні, залізобетонні та металеві типи підсилень) хоч і є більш досліджені та дають вищі результати підсилення (табл. 1) мають обмежені схеми виконання. Маючи більші параметри міцності та деформативності композитні матеріали використовуються лише на 20-35% своєї міцності, що дає поштовх до подальшого дослідження цих матеріалів.

Табл. 1.

Порівняння основних параметрів матеріалів підсилення.

Характеристика	Система підсилення нарощуванням стиснутої зони бетоном	Система підсилення залізобетонною обоймою	Підсилення з використанням композитних матеріалів
Міцність, МПа	6...25	240...500	1400...5800
Модуль пружності, МПа	12,6...30,5	1,9...2,1 $\times 10^5$	2,3...2,7 $\times 10^5$
Граничні деформації	0,027...0,037	0,012...0,025	0,0105...0,0215
Ефективність підсилення, %	25...30	40...60	20...35

Зважаючи на незначну вивченість композитних матеріалів, в порівнянні з широко застосовуваними традиційними матеріалами підсилення, можна констатувати, що з подальшим дослідженням їх застосування ефективність підсилення буде збільшуватись.

**Висновки.** Композитні матеріали мають перспективу для використання при підсиленні похилих перерізів залізобетонних конструкцій. Необхідно проводити подальший розвиток та розроблення більш ефективних схем використання. Це дасть можливість досягти вищої ефективності використання високих характеристик міцності та деформативності композитних матеріалів.

### Список використаних джерел

1. Мельник С.В. Робота підсилених за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при мало цикловому навантаженні та удосконалення методики розрахунку: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ Мельник Сергій Вікторович – Р.: 2012. – 184с.
2. Валовий О.І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд / О.І. Валовий– Кривий Ріг: Мінерал, 2003.-270 с.
3. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З. Я. Бліхарський - Л: НУ «ЛП», 2008 – 108 с.
4. Дубіжанський Д. Експериментально-теоретичні дослідження міцності та деформативності залізобетонних балок, підсилених обоймою за дії навантаження / Д. Дубіжанський, З.Я. Бліхарський // Вісник ТНТУ. – 2011р. – Спецвипуск – Частина 1. – С. 183-1187.
5. Попруга Д.В. Задачі і методика експериментального дослідження залізобетонних балок, підсилених нарощуванням в стиснутій зоні бетоном з відходів збагачення залізних руд / Д. В. Попруга О. І. Валовий // Дороги і мости: зб. наук. пр. – К., 2008. –Вип. 10. – С. 54- 59.
6. Хило Е.Р. Підсилення залізобетонних конструкцій з зміною розрахункової схеми і напруженого стану / Е. Р. Хило, Б.С. Попович.-Л.: Вища школа, 1976 – 147 с.
7. Лозовий Ю.І. Розрахунок металічних кронштейнів підсилення залізобетонних балок / Ю. І. Лозовий, Е. Р. Хило // Вісник ЛПІ. –Л., 1967. – Випуск №20. – С. 36-42.
8. Alzate A. Shear strengthening of reinforced concrete members with CFRP sheets / A. Alzate, A. Arteaga, A. de Diego, D. Cisneros, R. Perera// *MaterialesdeConstrucción*. – 2013. – P. 251-265
9. Шилин А.А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Каргузов - М: Стройиздат, 2007. – 184 с.
10. Чернявський В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / В.Л. Чернявський, Ю.Г. Хаютин, Е.З. Аскельрод, В.А. Клевцов, Н.В. Фаткуллин. – М.: ООО «ИнтерАква», 2006. – 113 с.
11. Дані з офіційного сайту Sika: [www.sika.com](http://www.sika.com).
12. Дані з офіційного сайту Ruredil: [www.ruredil.it](http://www.ruredil.it).
13. Шевчик А. Нові матеріали фірми Sika для підсилення дорожніх та мостових об'єктів // Науково-технічна конференція, присвячена 70-річчю білоруської дорожньої науки «Будівництво і експлуатація автомобільних шляхів та мостів». – Мінськ. – 1998. – С.278 - 284.

### АННОТАЦІЯ

В данній статті проводиться огляд основних типів посилення нахилених сечень залізобетонних балок і їх порівняння з сучасними способами посилення, які базуються на використанні високопрочних композитних матеріалів.

Ключевые слова: усиления, наклонные сечения, железобетонная балка.

### ANNOTATION

In this article an overview of the main types of reinforcement of the inclined cross section of reinforced concrete beams and comparisons with modern amplification methods based on the use of high-strength composite materials are described.

Keywords: reinforcement, inclined cross sections, reinforced concrete beam.