

УДК 69.059.3

**Савйовський Володимир Вікторович**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельного виробництва,  
*orcid.org/0000-0002-3094-7989*

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

**Молодід Олександр Станіславович**

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва,  
*orcid.org/0000-0001-8781-6579*

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

**Малець Наталія Олексіївна**

Асистент кафедри технології будівельного виробництва

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ*

## ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІМ АРМУВАННЯМ

***Анотація.** Підсилення балочних конструкцій виконують класичними способами: збільшенням поперечного перетину за рахунок нарощування; зміною статичної схеми роботи за рахунок установки затяжок, підкосів, стійок тощо. Проте, інколи встановлення додаткових громіздких конструкцій підсилення є неприйнятним, оскільки вони змінюють конструктивно-планувальні рішення внутрішнього простору будівлі, збільшують навантаження на опори та на фундаменти. У такому випадку доцільним є підсилення конструкцій влаштуванням зовнішнього армування наклеюванням за допомогою спеціальних клеїв на поверхню конструкцій, що підсилюються, додаткового армування у вигляді високоміцних полотен, пластин або смужок. Недоліком даної технології є висока вартість вуглецевих матеріалів. Саме тому було виконано ряд експериментальних досліджень з пошуку альтернативних до вуглецевих матеріалів. В лабораторних умовах виконано підсилення залізобетонних балочок скловолокном та сталевими пластинами з різними варіантами кріплень. Аналіз результатів досліджень показав, що підсилення залізобетонних балочкових будівельних конструкцій зовнішнім армуванням є достатньо ефективним способом у порівнянні з традиційними. Ефективність досягається як конструктивною складовою – збільшенням несучої здатності, так і технологічною – зменшенням трудомісткості виконання робіт.*

***Ключові слова:** підсилення балочних конструкцій; зовнішнє армування; підготовка основи; приклеювання; трудомісткість підсилення*

### Постановка проблеми

Поряд з розвитком новітніх технологій в новому будівництві, реконструкція та капітальний ремонт наявних будівель є також важливою складовою будівельного комплексу, що потребує вдосконалення. Одним з поширених видів будівельних робіт, що виконуються під час реконструкції будівель, є підсилення залізобетонних балочних конструкцій, а саме: ригелів, плит перекриттів, покриттів, балок тощо. Зазвичай в практиці, для підсилення вказаних конструкцій, використовуються такі способи: збільшення поперечного перетину за рахунок нарощування; зміна статичної схеми роботи за рахунок установки затяжок, підкосів, стійок тощо [1 – 3]. Проте, іноді трапляються випадки, коли встановлення додаткових громіздких конструкцій підсилення є неприйнятним, оскільки змінюються конструктивно-планувальні рішення внутрішнього

простору будівлі, значно збільшується навантаження на опори та на фундаменти.

У такому випадку досить ефективним та доцільним є спосіб підсилення конструкцій влаштуванням зовнішнього армування [3 – 5]. Принцип підсилення полягає в наклеюванні за допомогою спеціальних клеїв на поверхню конструкцій, що підсилюються, додаткового армування у вигляді високоміцних полотен, пластин або смужок (ламелей) [6; 7] (рис. 1). В якості зовнішньої арматури використовуються, як металеві так і композитні матеріали на основі вуглецевих волокон та склопластиків [8].

Технологія підсилення конструкцій зовнішнім армуванням має ряд переваг над класичними, що полягають в простоті виконання робіт, елементи підсилення не перенавантажують конструкції оскільки мають відносно малу масу, не змінюють конструктивно-планувальні рішення внутрішніх

приміщень. До недоліків даної технології можна віднести високу вартість вуглецевих матеріалів.

У сучасній науково-технічній літературі питанням організаційно-технологічних та конструктивних рішень підсилення конструкцій влаштуванням зовнішнього армування уваги приділено дуже мало. Це суттєво обмежує використання способу, хоча його переваги на багатьох практичних прикладах є очевидними. При проектуванні підсилення будівельних конструкцій для конкретних об'єктів із застосуванням зовнішнього армування, в процесі формування конструктивних рішень та розробці проектів виконання робіт (ПВР), проводяться експериментальні дослідження ефективності застосування вказаного способу.



Рисунок 1 – Балочні конструкції підсилені зовнішнім армуванням

### Виклад основного матеріалу

Підсилення залізобетонних будівельних конструкцій зовнішнім армуванням є відносно новим способом. Його використання поки що обмежено недостатністю досвіду та відсутністю нормативно-інструктивної літератури в цій царині. Як вказано вище, принцип підсилення балочних залізобетонних конструкцій передбачає наклеювання в розтягнутій зоні сталевих чи композитних смуг. На державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП «НДІБВ») наразі проводяться дослідження застосування зовнішнього армування для використання на конкретних об'єктах. Для цього на базі лабораторії закладу заплановано та виконано ряд експериментальних досліджень із зовнішнім армуванням залізобетонних конструкцій, метою яких був пошук альтернативного до вуглецевих матеріалів, зовнішнього армування при підсиленні горизонтальних балочних конструкцій.

У процесі проведення досліджень було здійснено підсилення розтягнутої зони залізобетонних балок такими способами:

- приклеюванням ниток скловолокна;
- приклеюванням сталеві смуги;
- приклеюванням сталеві смуги з додатковою фіксацією її по краях двома анкерами;

- приклеюванням сталеві смуги з додатковою фіксацією її по краях чотирма анкерами.

Дослідження було виконано на залізобетонних перемичках 1 ПБ 10-1 з такими характеристиками:

- довжина х ширина х висота – 1030х120х65 мм;
- маса – 20 кг;
- клас бетону – В15.

У першу чергу в лабораторії було виконано підготовку нижніх (розтягнутих) поверхонь балок під приклеювання зовнішнього армування. Підготовка поверхні полягала в очищенні дротяною щіткою поверхні балок від глянцевої поверхні, що створена антиадгезійним мастилом, нанесеним на опалубку та цементним молочком. Після чого з очищеної поверхні щіткою з м'яким ворсом видалили залишки пилу та бруду.

На підготовлену поверхню щіткою нанесли шар полімерної композиції «Консолід-1» виробництва ТОВ «Композит» [9] для закріплення залишків пилу та покращення адгезії армуючого матеріалу до основи конструкції.

Через 24 години на просочену поверхню балок щіткою з м'яким ворсом нанесли один шар клею «Едмок» на основі епоксидних смол, виробництва ТОВ «Композит».

Випробування виконано для п'яти серій – комбінацій кріплення зовнішнього армування (рис. 2).

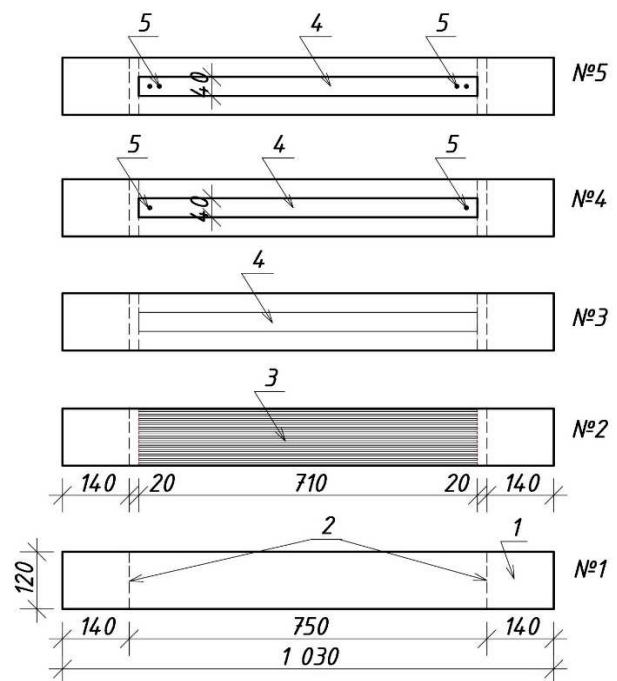


Рисунок 2 – Схеми підсилення балочок зовнішнім армуванням: 1 – балка; 2 – місця обтирання; 3 – скловолокно; 4 – сталеві смуги; 5 – анкер; №1 №5 – номери серії випробувань

Серія випробувань №1 – балки були контрольними, тому з ними не виконували жодних дій (армування не додавалось).

Серія випробувань №2 – в клейовий розчин, нанесений на зону підсилення, рівномірно «занурили» 12 ниток скловолокна.

Серія випробувань №3 – в середній частині балок (по ширині) приклеювали сталеві смуги шириною 4 мм та товщиною 2 мм.

Серія випробувань №4 – в середній частині балок (по ширині) приклеювали сталеві смуги шириною 4 мм та товщиною 2 мм з додатковою фіксацією двома анкерами по краях.

Серія випробувань №5 – в середній частині балок (по ширині) приклеювали сталеві смуги шириною 4 мм та товщиною 2 мм з додатковою фіксацією чотирма анкерами по краях (рис. 3).



Рисунок 3 – Зовнішнє армування залізобетонної балки шляхом приклеювання сталевих смуг з кріпленням чотирма анкерами по краях

Приклеювання зовнішнього армування виконувалось протягом 40 хв. Елементи зовнішнього армування не доводили на 2 см до опорної зони.

Випробування балок на вигин проводилось через 4 доби після приклеювання зовнішнього армування. Випробування виконувалось на пресі гідравлічному П-50.

Випробування проводилось для статичної схеми – як для балок на двох опорах, з прольотом 750 мм. Завантаження балок здійснювалось через дві рівновіддалені від опор та між собою сталеві трубки, тобто двома зосередженими зусиллями (рис. 4).

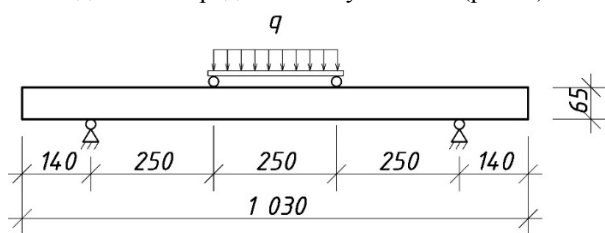


Рисунок 4 – Схема завантаження випробовуваних залізобетонних балок

Завантаження балок виконувалось по кроках зі збільшенням навантаження на 50 кг на кожному кроці з витримкою протягом 3 хв. Випробування проводили до повного руйнування балок. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці. Характер руйнування балок підсиленних скловолокном наведено на рис. 5. Характер руйнування балок підсиленних сталевими смугами з кріпленням їх анкерами (на краях) наведено на рис. 6.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень зі встановлення руйнівного зусилля балок

№ серії випробувань	Середнє руйнівне зусилля, кг	Середнє руйнівне зусилля, %	Примітки
1	407	0	
2	1223	300,4	
3	1451	356,5	краї сталевих смуг відірвались на 7-15 см
4	1660	407,8	
5	1663	408,5	



Рисунок 5 – Характер руйнування балки, підсиленої скловолокном (серія №2)



Рисунок 6 – Характер руйнування балки, підсиленої металевими смугами з кріпленням анкерами на краях (серія №5)

Аналіз результатів випробувань показав, що найбільша несуча здатність балочних конструкцій досягнута у варіантах із зовнішнім армуванням сталевими смугами з анкерним їх кріпленнями (серії № 4, 5). Однак зовнішнє армування скловолокном також покращило несучу здатність балки. Крім цього, при випробуваннях варіанта (серії № 1) не спостерігалось крихкого руйнування конструкцій. Це важливий аргумент для забезпечення стійкості і цілісності конструкції.

На основі результатів досліджень було проведено порівняльний аналіз трудомісткості влаштування зовнішнього армування виявленими найбільш ефективними варіантами у порівнянні з традиційними способами. В якості традиційних способів розглянуто такі:

- підсилення балок збільшенням перетину, шляхом нарощування (залізобетонна обойма);
- підсилення зміною статичної схеми роботи шляхом влаштування затяжок зі сталевих елементів;
- підсилення шляхом установки додаткових несучих балок.

Вихідними даними стали калькуляції затрат на виконання робіт наведеними способами, а також способу підсилення балок зовнішнім армуванням [10]. Ефективність способів наведена на гістограмі (рис. 7). Як видно з гістограми (рис. 7) найбільш ефективним способом є підсилення конструкцій зовнішнім армуванням.

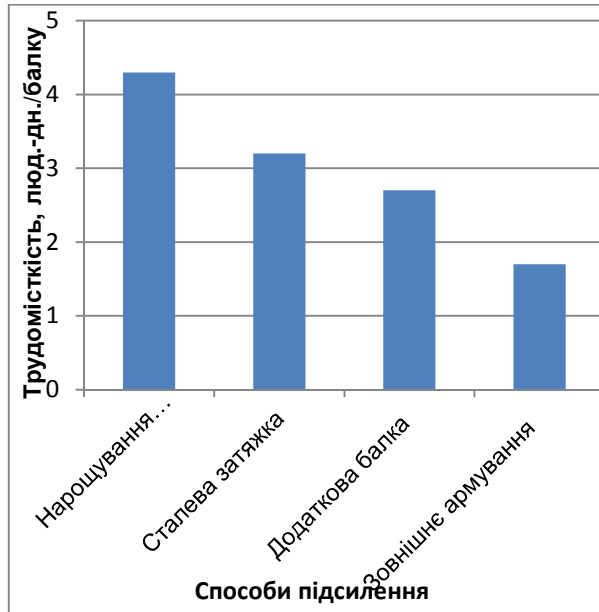


Рисунок 7 – Гістограма трудомісткості підсилення балки варіантами способів

## Висновки

Аналіз результатів досліджень показав, що підсилення залізобетонних балкових будівельних конструкцій зовнішнім армуванням є достатньо ефективним способом у порівнянні з традиційними. Ефективність досягається як конструктивною складовою – збільшенням несучої здатності, так і технологічною – зменшенням трудомісткості виконання робіт.

Встановлено, що найбільш ефективним є варіант підсилення сталевими смугами з анкерними кріпленнями країв елементів підсилення. При цьому технологія виконання робіт близька до технології проведення випробувань в лабораторних умовах. Простота підсилення дозволяє широко використовувати описаний спосіб підсилення та може широко використовуватись в практиці.

Проведені дослідження вказують на достатню ефективність сталевих смуг, що дає змогу обмежити використання дорогих вуглецевих елементів. Безумовно, даний висновок має базуватись на вихідних даних та задачах підсилення.

Результати досліджень можуть бути використані для розробки проектної документації реконструкції або капітального ремонту будівель.

## Список літератури

1. ДБН В.3.1-1-2002 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. Експлуатація конструкцій та інженерного обладнання будівель і споруд та систем життєзабезпечення. – К.: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 82 с.
2. Шагин А. Л. Реконструкція зданий и сооружений/А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко. – М.: Высш. шк., 1991. – 352 с.
3. Савйовский В. В. Ремонт и реконструкция гражданских зданий/В. В. Савйовский, О. Н. Болотских. – Х.: Ватерпас, 1999. – 288 с.
4. Савйовский В. В. Возведение и реконструкция сооружений: учебное пособие/В. В. Савйовский. – К.: «Лира-К», 2015. – 268 с.
5. Ігнатова І. В. Підсилення бетонних конструкцій за допомогою полімерсілікатної композиції/Ігнатова І. В.//Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.:ДП НДІБК, 2011. – Вип. 75. – Кн. 2. – С. 614-621.
6. Klebarmierung [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://www.diamont-ag.ch/klebarmierungen.html> – Назва з екрану.
7. Шилин А. А. и др. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов. – ОАО «Издательство «Стройиздат», 2004 – 144 с.: ил.
8. Рекомендации по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами. ТбилЗНИИЭП. – М.: Стройиздат, 1990. – 160 с.
9. Технологическая карта: на выполнение работ по восстановлению кирпичных, железобетонных конструкций и их защите. ООО «Композит». – К.: – 2009. – 7 с.
10. Савйовський В. В. Методологічні принципи організаційно-технологічного проектування реконструкції цивільних будівель : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Савйовський В. В. – Харків, 2010. – 44 с.

Стаття надійшла до редколегії 30.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Тугай, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

**Савйовський Владимир Викторович**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства, [orcid.org/0000-0002-3094-7989](https://orcid.org/0000-0002-3094-7989)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Молодед Александр Станиславович**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии строительного производства, [orcid.org/0000-0001-8781-6579](https://orcid.org/0000-0001-8781-6579)

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**Малец Наталья Алексеевна**

Ассистент кафедры технологии строительного производства

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВНЕШНИМ АРМИРОВАНИЕМ**

**Аннотация.** Усиление балочных конструкций выполняют классическими способами: увеличением поперечного сечения за счет наращивания; изменением статической схемы работы за счет установки затяжек, подкосов, стоек и тому подобное. Однако иногда установление дополнительных громоздких конструкций усиления является неприемлемым, поскольку они меняют конструктивно-планировочные решения внутреннего пространства здания, увеличивают нагрузку на опоры и фундаменты. В таком случае целесообразным является усиление конструкций устройством внешнего армирования наклеиванием с помощью специальных клеев на поверхность конструкций, которые усиливаются, дополнительного армирования в виде высокопрочных полотен, пластин или полосок. Недостатком данной технологии является высокая стоимость углеродных материалов. Именно поэтому был выполнен ряд экспериментальных исследований по поиску альтернатив углеродным материалам. В лабораторных условиях выполняли усиление железобетонных балок стекловолокном и стальными пластинами с различными вариантами креплений. Анализ результатов исследований показал, что усиление железобетонных балочных строительных конструкций внешним армированием является достаточно эффективным способом по сравнению с традиционными. Эффективность достигается как конструктивной составляющей – увеличением несущей способности, так и технологической – уменьшением трудоемкости выполнения работ.

**Ключевые слова:** усиление балочных конструкций; внешнее армирование; подготовка основания; приклеивание; трудоемкость усиления

**Volodymyr V. Savyovsky**

PhD, Professor, Head of Construction Production Technology Dept., [orcid.org/0000-0002-3094-7989](https://orcid.org/0000-0002-3094-7989)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**Alexander S. Molodid**

Ph.D., Associate professor, Assistant professor of Construction Production Technology Department, [orcid.org/0000-0001-8781-6579](https://orcid.org/0000-0001-8781-6579)

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**Nataliya O. Malets**

Assistant of Construction Production Technology Department

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

**AMPLIFICATION OF BEAM CONSTRUCTIONS MADE OF REINFORCED CONCRETE WITH EXTERNAL REINFORCEMENT**

**Annotation.** Reinforcement of beam constructions is performed by means of classical methods: increasing cross-section by buildup, changing static scheme of operation by installing puffs, struts, etc. However, sometimes installation of additional, bulky, reinforcing constructions is unacceptable, because they change design-planning decisions of internal space of a building, increasing load on bearings and foundations. In this case, it is expedient to strengthen constructions by furnishing external reinforcement, namely gluing onto the surface of amplified constructions with some special adhesives an additional reinforcement such as fabrics, sheets or strips of high strength. A disadvantage of this technique is the high cost of carbon materials. That was the reason to perform a number of experimental studies aiming to find alternative to carbon materials. In laboratory condition there was executed amplification of reinforced concrete beams using fiberglass and steel plates and different variants of fastening. Based on the results of experimental studies it was found that fiberglass reinforcement of beams increases their strength by 300%, and the reinforcement with steel plates fixed with anchors at the edges – by over 400%. Analysis of results has shown that external reinforcement of reinforced concrete beam building constructions is sufficiently effective way in comparison with the traditional. Efficiency is achieved by both - constructive part through increasing load capacity and technological - reducing labor intensity of work.

**Keywords:** reinforcement of beam constructions; external reinforcement; grounding; adhesion; labor intensity, reinforcement

**References**

1. *Repair and reinforcement of bearing and protecting structures and foundations of industrial buildings and structures. Exploitation of structures and engineering equipment of buildings and structures and life support systems.* (2003). DBN V.3.1-1-2002 from 1 July 2003. Kyiv, State Committee for Construction and Architecture of Ukraine (in Ukrainian)
  2. Shagyn, A.L., Bondarenko, Yu.V. & Goncharenko, D.F. (1991). *Reconstruction of buildings and structures.* Moscow, Russia. Vysshaya Schkola, 352 (in Russian).
  3. Savyovsky, V.V. & Bolotskih, O.N. (1999). *Repair and renovation of public buildings.* Kharkiv, Ukraine. Vaterpas, 288 (in Russian).
  4. Savyovsky, V.V. (2015). *Erection and reconstruction of buildings: Tutorial.* Kiev, Ukraine. "Lyra-K", 268 (in Russian).
  5. Ignatova, I.V. (2011). *Reinforcement of concrete structures using silica polymer composition.* Building construction. Kyiv, Ukraine Issue 75. Book 2, 614-621.
  6. *Klebearmierung* (undated). [diamont-ag.ch/klebearmierungen](http://www.diamont-ag.ch/klebearmierungen) Access: <http://www.diamont-ag.ch/klebearmierungen.html> (in Ukrainian).
  7. Shilin, A.A., Pshenichnyi, V.A. & Kartuzov, D.V. (2004). *Reinforcement of reinforced concrete structures by composite materials.* Moscow, Russia. JSC "Stroyizdat" Publishing house", 144 (in Russian).
  8. *Recommendations on the restoration and strengthening of dry construction buildings with polymer solutions.* (1990). Moscow, Russia. JSC "Stroyizdat" Publishing house". 160.
  9. *Process plan: to perform activities on the restoration of masonry and reinforced concrete structures and their protections.* (2009). Kiev, Ukraine. "Composite" Ltd. 7.
- Savyovskyy, V.V. (2010). *Methodological principles of organizational and technological design of civic reconstruction.* DSc Thesis. Kharkov: Kharkov University of Construction and Architecture (in Ukrainian).
- 

**Посилання на публікацію**

- APA Savyovskyy, V., Molodid, O., & Malets, O. (2017). *Amplification of beam constructions made of reinforced concrete with external reinforcement*, 29, 198 – 203. [in Ukrainian].
- ГОСТ Савйовський В. В. Підсилення залізобетонних балочних конструкцій зовнішнім армуванням [Текст] / В.В. Савйовський, О.С. Молодід, Н.О. Малець // *Управління розвитком складних систем.* – 2017. – № 29. – С. 198 – 203.