

УДК 69.059.3

О.С. Молодід,  
канд. техн. наук, доцент  
ORCID: 0000-0001-8781-6579

І.В. Максим'юк,  
студент

А.О. Григорова,  
магістр

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА РІЗНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

У статті наведено результати експериментальних досліджень з визначення руйнівного зусилля балок підсиленних зовнішнім армуванням та контрольних (без підсилення). За даними результатів таких досліджень можна констатувати, що підсилення балочних конструкцій зовнішнім армуванням дало змогу збільшити їхню несівну здатність на 383,3 %. Встановлено, що є ефективним як варіант підсилення карбоновими пластинами з використанням «хомутів», так і підсилення вуглецевим волокном.

Виконаними аналітичними дослідженнями встановлено техніко-економічні показники різних методів підсилення балкових конструкцій, а саме: підведенням додаткових опор, підведенням додаткових балок, зовнішнім армуванням розтягнутих зон за технологією «МАПЕІ». В результаті отримано дані які вказують на те, що підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори потребує 110,4 люд.-год. (100 %), підсилення ригеля підведенням додаткових балок – 94,4 люд.-год. (85,5 %), підсилення ригеля зовнішнім армуванням – 48 люд.-год. (43,5 %). При цьому підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори виконується за 9,7 днів (100 %), підсилення ригеля підведенням додаткових балок – 6 днів (62 %), підсилення ригеля зовнішнім армуванням – 4 дні (41,4 %). Також встановлено, що підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори коштує 51,8 тис. грн (100 %), підсилення конструкції підведенням додаткових балок – 58,1 тис. грн (112 %), підсилення конструкції зовнішнім армуванням – 35,72 тис. грн (68,9 %).

Отримані результати досліджень ТЕП вказують на те, що трудомісткість, тривалість та вартість виконання робіт при підсиленні балки зовнішнім армуванням менші у порівнянні з іншими технологіями.

Ефективність способу підсиленні балки зовнішнім армуванням досягається як конструктивною складовою – збільшенням несучої здатності без зміни конструктивного рішення так і технологічною – зменшенням трудомісткості, тривалості та вартості виконання робіт.

**Ключові слова:** підсилення балок; зовнішнє армування; підготовка основи; реконструкція; трудомісткість; карбонова пластина; вуглецеве волокно.

**Вступ.** Технічним завданням на проектування реконструкції одного з навчально-виховних закладів в м. Києві було передбачено надбудову двох поверхів та прибудову корпусу під навчально-виховний комплекс. У відповідності до вказівок нормативних

документів до початку проектування було виконано комплекс інженерно-вишукувальних робіт. В комплекс вишукувальних робіт входило обстеження конструкцій будівлі, в ході якого виявлено три ригелі перекриття з тріщинами вздовж робочої арматури до 3 мм та явні сліди корозії арматури. Перевірочним розрахунком встановлено, що несівна здатність зазначених ригелів не забезпечена, тому необхідно виконати їхнє підсилення.

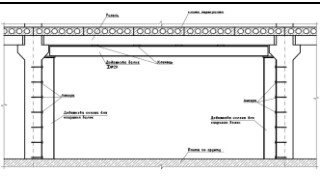
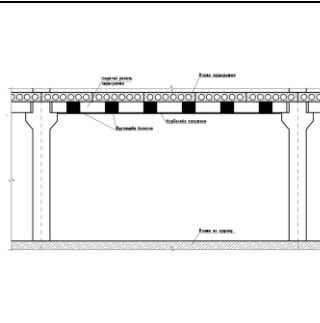
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізом нормативної та технічної літератури встановлено, що зазвичай в практиці, для підсилення балок (ригелів), використовують наступні конструктивно-технологічні рішення: збільшення поперечного перетину за рахунок нарощування; зміна статичної схеми роботи за рахунок установки затяжок, підкосів, стійок тощо [1 – 3] (табл. 1). Проте, влаштування додаткових конструкцій підсилення призведе до зменшення міжповерхового простору, або зміни конструктивно-планувальних рішень внутрішнього простору будівлі. Крім цього, значно збільшується навантаження на опори та фундаменти, або й узагалі з'являється необхідність у влаштуванні додаткових фундаментів під нові опори.

Таблиця 1

**Аналіз існуючих способів підсилення**

Назва способу підсилення	Схема підсилення	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Нарощування залізобетонної обойми	<p>1 - балка, що підсилюється, 2 - залізобетонна плита, 3 - залізобетонна обойма, 4 - арматура обойми, 5 - поверхня балки, підготовлена до бетонювання, 6 - отвори, які роблять у плитах для укладання бетону</p>	Збільшення несівної здатності балки	Технологічна перерва при бетонуванні на час тужавлення бетону. Зміна архітектурного вигляду конструкції. Збільшує навантаження на існуючі конструкції фундаментів. Технологічна складність влаштування підсилення.
Підведення додаткової жорсткої обойми	<p>1 - балка, що підсилюється, 2 - додатковий (існуючий) фундамент, 3 - колона підсилення, 4 - болти.</p>	Зменшення зусиль у розтягнутій зоні балки та прогинів	Влаштування додаткових фундаментів. Зміна архітектурно-планувального рішення приміщення. Потреба у великій кількості матеріалів. Технологічна складність влаштування підсилення. Можлива деформація основи під новим фундаментом.
Встановлення сталевих затяжок	<p>1 - балка, що підсилюється, 2 - попередньо напружений шпренгелів із арматури або прокляної сталі, 3 - опорний елемент, 4 - розпорки, 5 - стяжний хомут.</p>	Підвищення жорсткості конструкції. Не потребує розвантаження конструкції. Не змінює архітектурно-планувальні рішення приміщення	Потребує розкріплення у площині конструкції. Потреба у попередньому напруженні. Технологічна складність влаштування підсилення. Розвантаження існуючої конструкції на 5...20 %.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Підведення додаткових балок		Підвищення несівної здатності	Зміна архітектурно-планувального рішення приміщення. Технологічна складність влаштування підсилення. Збільшує навантаження на існуючі конструкції фундаментів.
Зовнішнє армування		Збільшення несівної здатності. Низькі трудозатрати. Не змінює архітектурно-планувальні рішення приміщення. Не збільшує навантаження на існуючі конструкції. Легкість влаштування підсилення	Можливість підсилення тільки розтягнутої зони конструкції. Висока вартість матеріалів.

Одним з відмінних способів підсилення конструкцій – є зовнішнє армування (наклеювання за допомогою спеціальних клеїв на поверхню конструкцій високоміцних полотен, пластин або смужок (ламель)) [4–6]. У будівельній практиці наразі використовуються матеріали та технології іноземного виробництва.

**Постановка проблеми.** Технологія зовнішнього армування, на перший погляд, найбільш доцільна для підсилення ригелів, проте висока вартість матеріалів для вітчизняного споживача може бути суттєвою.

Для виконання даного дослідження було **використано методи** системного аналізу та синтезу, графічний метод представлення інформації, узагальнення та порівняння.

**Метою** даної публікації є дослідження техніко-економічних показників (ТЕП) різних технологій підсилення ригелів перекриття.

**Виклад основного матеріалу.** У першу чергу для перевірки ефективності підсилення конструкцій зовнішнім армуванням було виконано, експериментальні дослідження з визначення несучої здатності конструкції до та після підсилення [8]. Аналіз отриманих результатів досліджень показав, що підсилення залізобетонних балкових конструкцій зовнішнім армуванням є достатньо ефективним способом у порівнянні з традиційними (рис. 1).

Виходячи з результатів експериментальних досліджень можна констатувати, що підсилення балочних конструкцій зовнішнім армуванням дало змогу збільшити їхню несівну здатність на 383,3 %. Встановлено, що є ефективним як варіант підсилення карбоновими пластинами з використанням «хомутів», так і підсилення вуглецевим волокном.

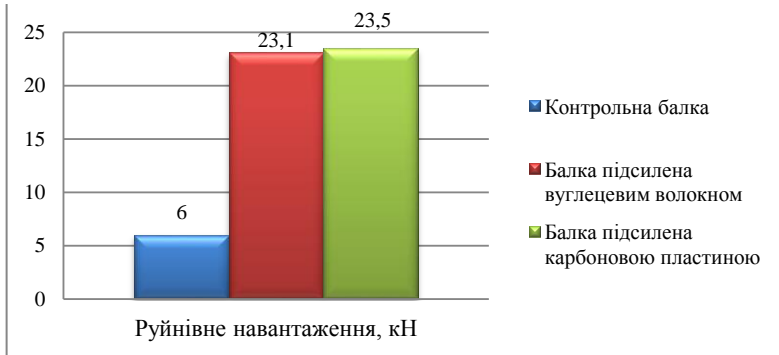


Рис. 1. Гістограма руйнівних навантажень залежно від способу підсилення балки зовнішнім армуванням

До внесення конкретного способу підсилення ригелів у проектні рішення передбачено виконати техніко-економічні порівняння можливих способів підсилення конструкцій: підведенням додаткової жорсткої опори, підведенням додаткових балок та зовнішнім армуванням.

Основними техніко-економічними показниками для порівняння обрано: трудомісткість, тривалість процесу та вартість виконання робіт. Розрахунок проводиться на підсилення однієї балки.

За *першим методом* підсилення ригелів передбачено підведенням додаткової жорсткої опори, а саме металевої колони виготовленої з двох швелерів зварених в коробочку металевими пластинами. Під нову опору передбачено влаштування фундаменту.

За *другим методом* підсилення ригелів запроєктовано підведення додаткових балок. Такий метод передбачав встановлення додаткових металевих опор (колон) для опирання балок. Такі опори встановлювали поряд з існуючими колонами з анкеруванням до них. В подальшому на колони під балку, що потребує підсилення, монтували два двотаври та встановлювали між існуючою балкою та новими металеві клини для включення змонтованих балок в роботу.

За *третім методом* підсилення ригелів виконується за технологією компанії «МАПЕІ». Така технологія передбачає нанесення ґрунтівки Marwgar Primer 1 з подальшим нанесенням клею Adesilex PG1/PG2 та приклеюванням пластин Carboplate E170/50/1.4/25. Після приклеювання пластин, вздовж балки з кроком 500 мм наклеювали «хомути» з вуглецевої тканини Marwgar C UNI-AX 300/20, які додатково об'єднували балку та пластини.

На першому етапі дослідження ТЕП передбачено визначення трудомісткості виконання робіт при підсиленні балки за різними технологіями. Трудомісткість визначено в технологічних розрахунках за нормативними значеннями у відповідності до ДБН, ГН, ДСТУ та ЕНіР. Результати даних досліджень представлено графічно у вигляді гістограми на рис. 2.

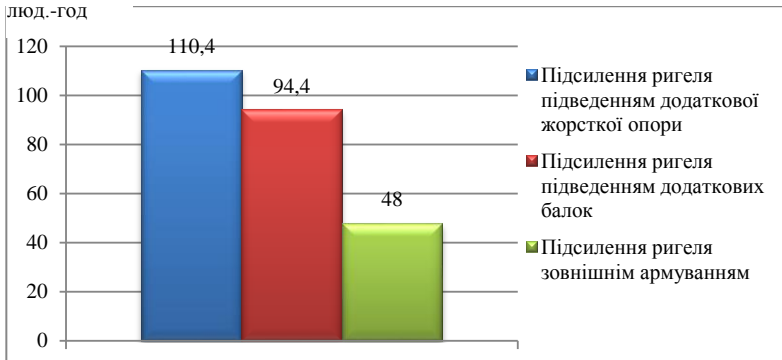


Рис. 2 Трудомісткість виконання робіт при підсиленні балок різними методами

За даними діаграми трудомісткості робіт (рис. 2) видно, що підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори потребує 110,4 люд-год (100 %), підсилення ригеля підведенням додаткових балок – 94,4 люд-год (85,5 %), підсилення ригеля зовнішнім армуванням – 48 люд-год (43,5 %).

Тривалість процесу підсилення балки визначено складанням тривалостей виконання робочих операцій з тривалостями технологічних перерв між ними за календарними графіками виконання робіт. Гістограма тривалості виконання робіт представлена на рис. 3.

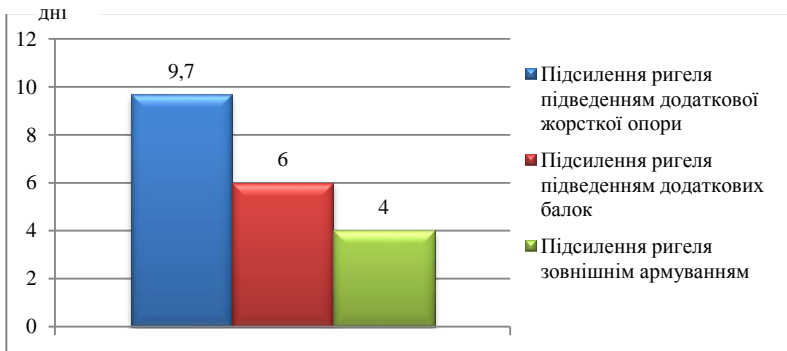


Рис. 3. Тривалість виконання робіт при підсиленні балок різними методами

За даними гістограми тривалості робіт (рис. 3) видно, що підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори виконується за 9,7 днів (100 %), підсилення ригеля підведенням додаткових балок – 6 днів (62 %), підсилення ригеля зовнішнім армуванням – 4 дні (41,4 %).

На останньому етапі дослідження ТЕП підсилення балки визначили вартість такого підсилення при різних технологіях виконання робіт. Загальна вартість підсилення складалася з вартості матеріалів і конструкцій та вартості виконання робіт. Загальну вартість матеріалів та обладнання визначено за формулою:

$$P_M = \sum_{i=1}^n (\rho_{mi} \cdot Q_{mi}),$$

де  $\rho_{mi}$  – загальна сума добутоків вартості кожного окремого матеріалу;

$Q_{mi}$  – обсяг кожного окремого матеріалу.

Витрати на заробітну плату робітників, що виконують підсилення, визначено в гривнях на основі даних збірника «Ціноутворення у будівництві». Вказані витрати становлять 20,5 грн/год для робітника з розрядом – 3,8. Гістограма вартості виконання робіт представлена на рис. 4.

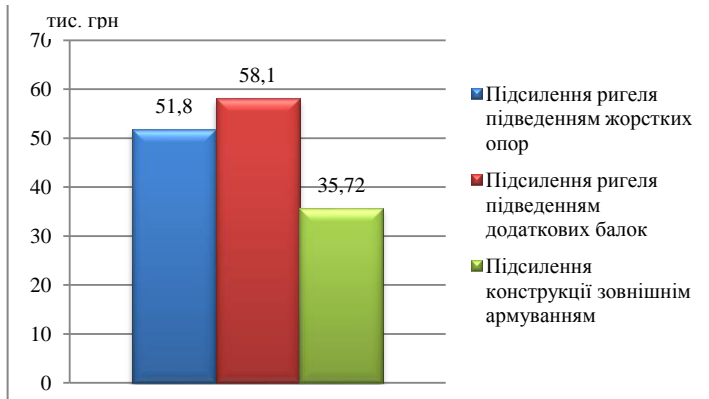


Рис. 4. Вартість підсилення балок різними методами

За даними діаграми вартості робіт (рис. 4) видно, що підсилення ригеля підведенням додаткової жорсткої опори коштує 51,8 тис. грн (100 %), підсилення конструкції підведенням додаткових балок – 58,1 тис. грн (112 %), підсилення конструкції зовнішнім армуванням – 35,72 тис. грн (68,9 %).

Отримані результати досліджень ТЕП вказують на те, що трудомісткість, тривалість та вартість виконання робіт при підсиленні балки зовнішнім армуванням менші у порівнянні з іншими технологіями. Така тенденція пов'язана з тим, що зовнішнє армування виконується шляхом наклеювання ламелей ручним інструментом за простою технологією, яка не потребує великих затрат праці робітників та механізмів, на відміну від класичних методів підсилення. Крім цього зовнішнє армування не потребує влаштування додаткового фундаменту, встановлення опор (додаткових колон), зварювальних робіт, монтажних робіт за допомогою піднімальних пристроїв. Підсилення ригеля зовнішнім армуванням виконується за технологією значно простішою, ніж у двох інших випадках, тому не потребує роботи фахівців різних спеціальностей (бетонувальник, зварювальник), що знижує загальні трудовитрати та вартість робіт.

Для комплексної оцінки ефективності різних видів підсилення використано порівняння з використанням функцій корисності. Функція корисності описує залежність ефективності варіантів від їх експертних оцінок (табл. 2, 3) [9].

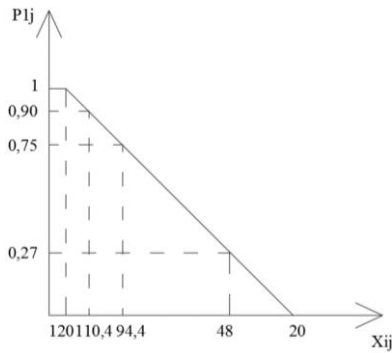
Таблиця 2

**Бажані показники техніко-економічних показників підсилення конструкції**

Бажане значення	Трудомісткість робіт, люд-год ( $K_1$ )	Тривалість робіт, дні ( $K_2$ )	Вартість робіт, тис. грн ( $K_3$ )
Найбільше	20	2	20
Найменше	120	15	60

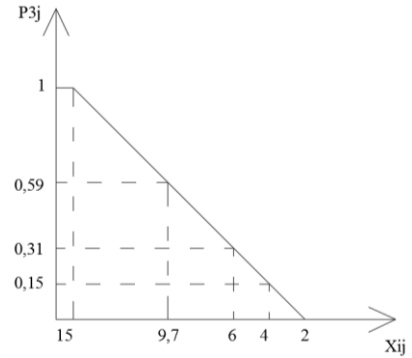
Відповідно до табл. 3 та графіків корисності підсилення ригеля зовнішнім армуванням має найменші коефіцієнти, тобто є найефективнішими.

Трудомісткість робіт, люд-год ( $K_1$ )



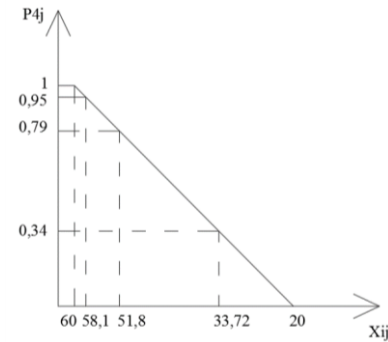
$$\begin{cases} 1, X_{1j} > 120 \\ \frac{X_{1j} - 20}{120 - 20}, 20 \leq X_{1j} \leq 120 \\ 10 * \frac{X_{1j} - 20}{120 - 20}, X_{1j} < 20 \end{cases}$$

Тривалість робіт, дні ( $K_2$ )



$$\begin{cases} 1, X_{1j} > 15 \\ \frac{X_{1j} - 2}{15 - 2}, 2 \leq X_{1j} \leq 15 \\ 10 * \frac{X_{1j} - 2}{15 - 2}, X_{1j} < 2 \end{cases}$$

Вартість робіт, тис. грн ( $K_3$ )



$$\begin{cases} 1, X_{1j} > 60 \\ \frac{X_{1j} - 20}{60 - 20}, 20 \leq X_{1j} \leq 60 \\ 10 * \frac{X_{1j} - 20}{60 - 20}, X_{1j} < 20 \end{cases}$$

Рис. 5. Графіки корисності

Таблиця 3

**Коефіцієнти ефективності технології**

Спосіб підсилення	Трудомісткість робіт, люд-год ( $K_1$ )	Тривалість робіт, дні ( $K_3$ )	Вартість робіт, тис. грн ( $K_4$ )
Підсилення ригеля підведенням жорстких опор	0,9	0,59	0,79
Підсилення ригеля підведенням додаткових балок	0,75	0,31	0,95
Підсилення конструкції зовнішнім армуванням	0,27	0,15	0,34

Відповідно до табл. 3 та графіків корисності підсилення ригеля зовнішнім армуванням має найменші коефіцієнти, тобто є найефективнішими.

**Висновки.** Аналіз результатів досліджень показав, що підсилення ригелів зовнішнім армуванням є достатньо ефективним способом у порівнянні з традиційними. Ефективність досягається як конструктивною складовою – збільшенням несучої здатності, технологічною – зменшенням трудомісткості виконання робіт так і економічною – зменшення собівартості робіт.

Результати досліджень дають можливість вибрати конкретний спосіб підсилення ригелів та внести такий спосіб в проектно-технологічну документацію на реконструкцію навчально-виховного закладу.

**Список літератури:**

1. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд [Чинний від 2017-04-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 72 с.
2. Шагин А.Л. Реконструкция 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. Савйовський В.В. Реконструкція будівель і споруд / В.В. Савйовський. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 320 с.
5. Klebarmierung [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.diamont-ag.ch>.
6. Марепвар С UNI-AX. Покрытие углеволокном высокопрочное однонаправленное. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rosmax.com.ua/stroitelnaia-chimija/strukturnoe-usilenie-s-pomoshhyu-sistemy-frm/mapewrap-c-uni-ax>
7. Minnaugh P.L. The experimental behavior of steel fiber reinforced polymer retrofit measures: thesis master of Science / Patrick Lucien Minnaugh; University of Pittsburgh school of engineering. – Pittsburgh, 2006 – 113 p.
8. Григорова А. Підсилення балочних конструкцій зовнішнім армуванням за технологією “МАРЕР” / А. Григорова, І. Повх // International Scientical-Practal Conferencw of young scientists “Build-Master-Class-2018” November 2018, Kyiv, Ukraine - P. 210 – 211.
9. Гудков П.А. Методы сравнительного анализа. Учеб. Пособие. – Пенза: Изд-во Пеннз. Гос. Ун-та, 2008 – 81 с.



### **References:**

- 1 Remont i pidsylennya nesuchykh i ohorodzhuval'nykh budivel'nykh konstruktсий ta osnov budivel' i sporud. [Repair and strengthening of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures]. (2016). DSTU B B.3.1-2: 2016 from 01 April 2017. Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv. Ukraine.
- 2 Shagin, A.L., Bondarenko, Yu.V., & Goncharenko D.F. (1991). Rekonstruktsiya zdaniy i sooruzheniy. [Reconstruction of buildings and structures]. Higher School, Moscow. Russia.
- 3 Savyovsky, V.V. & Bolotskikh, O.N. (1999). Repair and reconstruction of civil buildings. Waterpass, Kharkiv. Ukraine.
- 4 Savyovsky, V.V. (2018). Reconstruction of buildings and structures. Lira-K, Kyiv. Ukraine
- 5 Klebarmierung. URL: <http://www.diamond-ag.ch>
- 6 Mapewrap C UNI-AX. Pokrytiye uglevolokonnoye vysokoprochnoye odnonapravlennoye. [Mapewrap C UNI-AX. The covering is carbon fiber high-strength unidirectional]. (2012). Rosmax-Service. <http://rosmax.com.ua/stroitelnaja-chimija/strukturnoe-usilenie-s-pomoshhyu-sistemy-frp/mapewrap-c-uni-ax>
- 7 Minnaugh, P.L. (2006). The experimental behavior of steel fiber reinforced polymer retrofit measures: thesis master of Science. Patrick Lucien Minnaugh; University of Pittsburgh school of engineering. Pittsburgh.
- 8 Grigorova, A. & Povkh, I. (2018). Reinforcement of beam structures by external reinforcement according to MAPEI technology. *International Scientical-Practal Conference of young scientists "Build-Master-Class-2018"* November, Kyiv. Ukraine.
- 9 Gudkov, P.A. (2008). *Metody sravnitel'nogo analiza*. [Methods of comparative analysis]. Penza. Russia.

***А.С. Молодєд, И.В. Максимюк, А.О. Григорова,  
Исследования технико-экономических показателей усиления  
железобетонных балок по различным технологиям***

*В статье приведены результаты аналитических исследований по установлению технико-экономических показателей различных методов усиления балочных конструкций, а именно: подводом дополнительных опор, подведением дополнительных балок, внешним армированием растянутых зон по технологии «МАПЕИ». Установлено, что усиление ригелей внешним армированием является достаточно эффективным способом по сравнению с традиционными. Эффективность достигается как конструктивной составляющей - увеличением несущей способности без изменения конструктивного решения так и технологической - уменьшением трудоемкости, продолжительности и стоимости выполнения работ.*

***Ключевые слова:*** усиления балок; внешнее армирование; подготовка основания; реконструкция; трудоемкость; карбоновая пластина; углеродное волокно.

***O. Molodid, I. Maksymiuk, A. Hryhorova  
Research of technical and economic indicators of reinforcement of reinforced  
concrete beams by different technologies***

The article presents the results of experimental investigations to determine the destructive force of beams reinforced with external reinforcement and control (without reinforcement). According to the results of such investigations, it can be stated that the strengthening of beam structures by external reinforcement made it possible to increase their bearing capacity by 383.3%. It has been established that both carbon fiber reinforcement using "clamps" and carbon fiber reinforcement are effective.

The performed analytical researches established technical and economic indicators of various methods of reinforcement of beam constructions, namely: the addition of additional supports, the addition of additional beams, the external reinforcement of stretched zones by MAPEI technology. As a result, data were obtained indicating that the reinforcement of the crossbar by bringing additional rigid support requires 110.4 man-hours (100%), the reinforcement of the crossbar by bringing additional beams - 94.4 man-hours (85.5%), the reinforcement of the crossbar by external reinforcement - 48 man-hours (43.5%). In this case, the reinforcement of the crossbar by bringing additional rigid support is performed in 9.7 days (100%), the reinforcement of the crossbar by bringing additional beams - 6 days (62%), the reinforcement of the crossbar by external reinforcement - 4 days (41.4%). It is also established that the reinforcement of the crossbar by bringing additional rigid support costs 51.8 thousand UAH (100%), strengthening the structure by bringing additional beams - 58.1 thousand UAH (112%), strengthening the structure by external reinforcement - 35.72 thousand UAH (68.9%).

The obtained research results indicate that the labor intensity, duration and cost of reinforcing the beam with external reinforcement is lower compared to other technologies.

Efficiency is achieved by a structural component - increasing the bearing capacity without changing the design solution and by technological component - reducing the labor intensity, duration and cost of work.

**Keywords:** reinforcement of beams; external reinforcement; preparation of the basis; reconstruction; laboriousness; carbon plate; carbon fiber.

### **Посилання на статтю**

**APA:** Molodid, O., Maksymiuk, I. & Hryhorova, A. (2020). Research of technical and economic indicators of reinforcement of reinforced concrete beams by different technologies. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 45, 144-153.

**ДСТУ:** Молодід О.С. Дослідження техніко-економічних показників підсилення залізобетонних балок за різними технологіями [Текст] / О.С. Молодід, І.В. Максим'юк, А.О. Григорова // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 45. – С. 144-153.