

УДК 624.01

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПІДСИЛЕНИХ СИСТЕМОЮ ПОПЕРЕЧНИХ СТРИЖНІВ З ЗАТЯЖКОЮ**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК УСИЛЕННЫХ СИСТЕМОЙ ПОПЕРЕЧНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ЗАТЯЖКОЙ**

**AN EFFICIENCY OF STRENGTHENING OF REINFORCE-CONCRETE BEAMS SYSTEM OF TRANSVERSAL BARS WITH TENDONS**

**Чеканович М.Г., к.т.н, проф.** (Херсонський ДАУ, м. Херсон), **Романенко С.М., ст. викладач** (Херсонський ДАУ, м. Херсон), **Андрієвська Я.П. аспірант** (Херсонський ДАУ, м. Херсон)

**Чеканович М.Г., к.т.н, проф.** (Херсонский ГАУ, г. Херсон), **Романенко С.М., ст. преподаватель** (Херсонский ГАУ, г. Херсон), **Андриевская Я.П. аспирант** (Херсонский ГАУ, г. Херсон)

**Chekanovich M.G., candidate of technical sciences, professor** (Kherson State Agricultural University, Kherson), **Romanenko S.M. senior lecturer** (Kherson State Agricultural University, Kherson), **Andrievska Y.P. post-graduate student** (Kherson State Agricultural University, Kherson)

**Приведені результати експериментального дослідження роботи зовнішніх систем підсилення залізобетонних балок шляхом раціонального перерозподілу напружень між стисненою та розтягнутою зонами під навантаженням та визначення максимального ефекту розглянутих балок.**

**Приведены результаты экспериментального исследования работы внешних систем усиления железобетонных балок путем рационального перераспределения напряжений между сжатой и растянутой зонами под нагрузкой и определение максимального эффекта рассмотренных балок.**

**Results over of experimental research of work of the external systems of strengthening of reinforce-concrete beams are brought by the rational redistribution of tensions between compressed and stretched by zones on-loading and determination of maximal effect of the considered beams.**

**Ключові слова:**

затяжка, переріз, напруження, деформації, міцність.  
затяжка, сечение, напряжение, деформации, прочность.

tendons, cross-section, stress, strain, strength.

**Стан питання та задачі дослідження.** Підсилення залізобетонних елементів, таких як балки та плити широко застосовуються у будівельній практиці. В останні роки обсяги застосування підсилення зросли, що обумовлено значним зростанням питомої ваги реконструкції в будівництві. Найбільш поширеними причинами необхідності виконання підсилення є наступні: старіння матеріалів конструкції, корозія, які спричиняють зменшення їх міцності; збільшення експлуатаційних навантажень на конструкції, яке виникає внаслідок зміни технологічного процесу, призначення, умов експлуатації чи статичної схеми споруди; перевищення ширини розкриття тріщин і деформацій тих граничних значень, які встановлені нормативними документами [1] для забезпечення умов нормальної експлуатації; помилки, допущені при проектуванні чи виконанні будівельних робіт; зменшення несучої здатності при впливі малоциклових навантажень, тому будівельні конструкції потребують підсилення, яке забезпечить достатню роботоздатність в умовах нормальної експлуатації та надійність. [2, 3]

Науковими та конструкторсько-технологічними методами [4-16] підсилення залізобетонних елементів, що згинаються, приділяли увагу такі вітчизняні та зарубіжні автори: Є.М. Бабіча, А.М. Бамбури, Г.І. Бердичівського, В.О. Воблих, А.А. Гвоздева, А.Б. Голишева, Є.О. Гриневича, Ф.С. Замалієвим, М.Ю. Ізбаша, В.Г. Кваші, Ф.Є. Клименко, Ф. Леонгардта, Є.О. Лучковського, В.В. Михайлова, Н.М. Онуфрієва, С.Ф. Пічугін, Е.Г. Ратца, Л.І. Стороженко Л.Н. Фомиці, Е. Фрейсіне, Цзян Де, О.Л. Шагіна, Richard W. Plavidal, Thomas Keller та ін.

Існуюче різноманіття методів можна розділити на 3 великі групи: підсилення зі зміною конструктивної та розрахункової схеми залізобетонного елемента; підсилення без зміни схем роботи конструкцій нарощуванням їх перерізів, додатковим зовнішнім армуванням; підсилення попереднім обтисненням балки горизонтальними затяжками.

Затяжки можуть бути трьох типів - горизонтальними, шпренгельними та комбінованими, які поєднують в собі обидва перших типи. При влаштуванні попередньо напружених затяжок підсилюванні елементи змінюють свою первісну конструктивну схему внаслідок того, що перетворюються в комбіновані системи. Завдяки цьому звичайні згинальні елементи стають позакентровано стиснутими, причому на їх опорах створюються додаткові згинані моменти, які в свою чергу впливають на початкові прольотні моменти.

Зовнішню арматуру у вигляді горизонтальної затяжки застосовують в основному для сприйняття згинальних моментів та збільшення, відповідно, несучої здатності конструкції. При підсиленні шпренгельними і комбінованими затяжками, окрім вище наведених зусиль, на елемент діють

додаткові розвантажуючі зусилля в місцях перегинів тяжів, які взаємодіють з балкою. Конструкції, посилені шпренгелем, повинні перевірятися на дію несиметричного навантаження, якщо воно можливе. При підсиленні шпренгелем необхідно створення в ньому зусиль, які б розвантажували балку моментом, зворотнім по знаку до моменту від зовнішнього навантаження. Це зусилля спочатку створюється попереднім натягом. Методика розрахунку шпренгеля передбачає розглядати балку як самостійний позацентрово стиснутий елемент, що знаходиться під впливом заданого зовнішнього навантаження і зусиль, переданих на балку шпренгелем, так само, як зовнішнього навантаження. Проводиться перевірка перерізу з умови спільної роботи балки разом зі шпренгелем, приймаючи сумарну площу робочої арматури зі стрижнів.

Після розгляду багатьох схем підсилення до їх недоліків можна віднести неможливість ефективного розвантаження стиснутої зони бетону балки, що суттєво впливає на загальну і несучу здатність.

**Постановка мети і задач досліджень.** Метою є визначення експериментальним шляхом параметрів міцності та напружено-деформованого стану залізобетонних балок, підсилених новою зовнішньою системою розтягнутих елементів з додатковим похилим тяжом. Підсилення має задовольняти вимогу: максимального розвантаження балки моментом, зворотнім по знаку до моменту від зовнішнього навантаження.

Задачі дослідження:

- провести експериментальні дослідження міцності та деформативності звичайних непідсиленних залізобетонних балок та балок, підсиленних поздовжньо-поперечною зовнішньою системою;
- проаналізувати результати, отримані після експериментальних досліджень звичайних непідсиленних залізобетонних балок та балок, підсиленних поздовжньо-поперечною зовнішньою системою;
- порівняти результати експериментальних досліджень;
- визначити ефективність підсилення залізобетонних балок поздовжньо-поперечною зовнішньою системою арматурних стрижнів.

**Методика досліджень.** Для експериментальних досліджень було виготовлено три серії залізобетонних балок, прямокутного перерізу: БО-І, БПП-ІІ, БПП-ІІІ. Кожна серія включала дві «балки-близнюки».

Серія БО-І звичайна не підсилена еталонна балка.

Серія БПП-ІІ були підсилені згідно патенту [17], а балки серії БПП-ІІІ були удосконалені встановленням додаткового похилого стрижня з арматури А 240С. Зовнішні системи представлені на (рис.1 а, б).

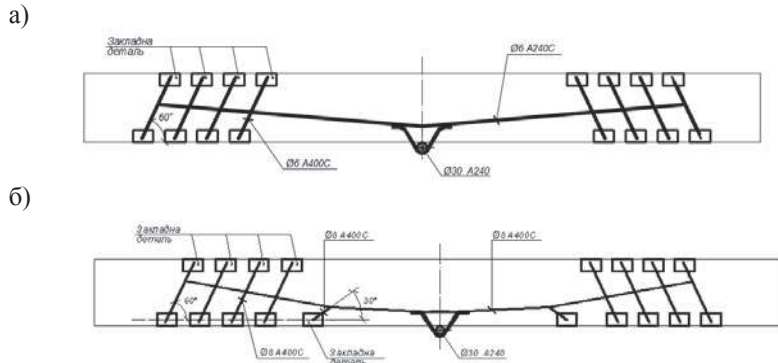


Рис. 1. Схема підсилення балки: а) БПП-II, б) БПП-III з поздовжньою і поперечною паралельно розташованою зовнішньою арматурою

Переріз котка розраховувався за формулою Герца [18] та визначався за умовою місцевого зминання при вільному торканні площини та циліндричної поверхні.

Регульовано-напружена балка містить залізобетонне тіло і затяжку, закріплену на системі похилих стрижнів, які розташовані дзеркально симетрично в припорних зонах балки з нахилом до поздовжньої осі, взаємодіючи посередині з натяжним елементом, що опирається на нижню грань балки.

Програмою досліджень передбачаємо проведення випробування та визначення міцності і деформативності звичайної та підсиленої балок (рис. 2, 3), як вільно опертих по кінцях.

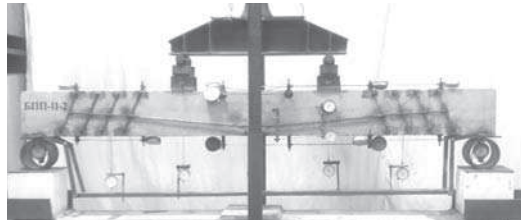


Рис. 2. Фото випробування підсиленої балки серії БПП-II

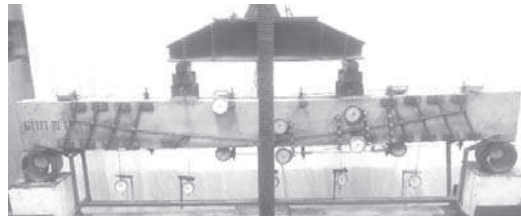


Рис. 3. Фото випробування підсиленої балки серії БПП-III

Величину зовнішнього навантаження визначали за допомогою двох кільцевих динамометрів, а прогини балок фіксували за допомогою прогиномірів, прикріплених на спеціальну металеву рамку. Деформації бетону та арматури вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу.

Під зовнішнім навантаженням балка деформується і натяжний елемент відхиляє зтяжку донизу на величину максимального прогину. Суттєво зростає зусилля розтягу в зтяжці при стягуванні до середини зовнішньої поперечної арматури підсилення, яка закріплена на верхній і нижній фібрах балки в її приопорних зонах. Взаємозв'язок поздовжньої арматури - зтяжки і поперечної арматури забезпечує саморегулювання напружень.

**Результати досліджень.** Після проведення експериментальних досліджень зразків звичайних еталонних та підсилених залізобетонних балок під дією навантаження визначалась несуча здатність, деформативність та напружено-деформований стан за нормальними перерізами. В результаті обробки випробувань досліджень відмічались характерні особливості розподілу деформацій по висоті перерізу і довжині елементів, а також інтенсивність росту прогинів та були побудовані діаграми залежності деформацій від згинального моменту.

На (рис. 4, 5) представлені діаграми залежності фібрових деформацій верхньої і нижньої граней балок по середині прольотів та величини прогинів від зовнішнього моменту.

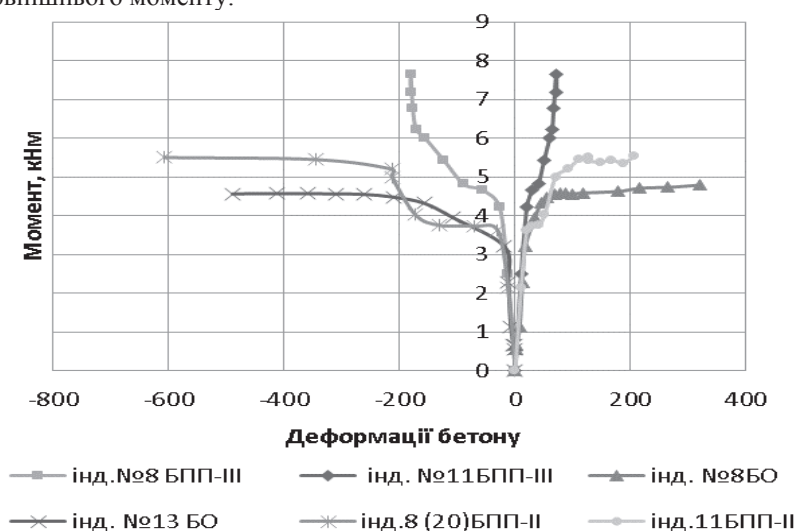


Рис. 4. Діаграми фібрових деформацій підсилених балок серії БПП-II, БПП-III і звичайної балки серії БО-I

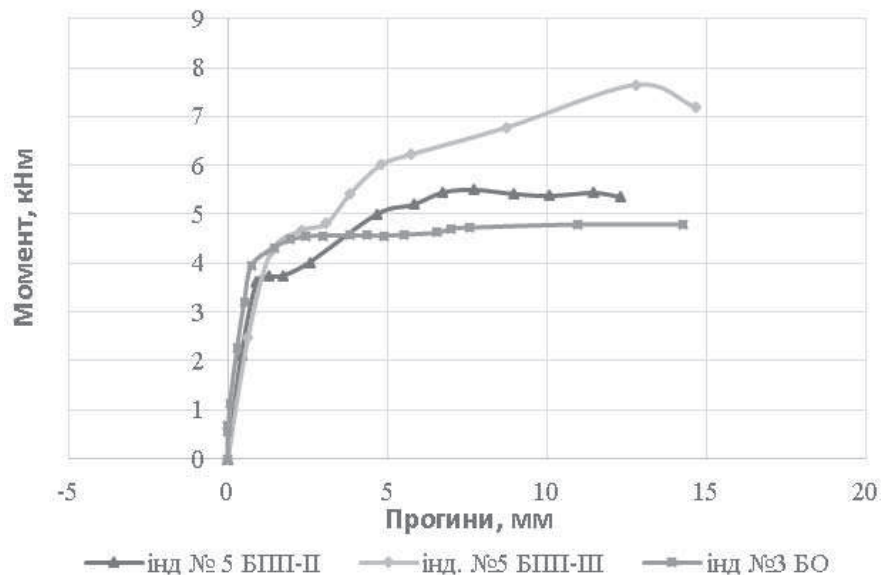


Рис. 5. Діаграми залежності прогинів від згинального моменту для балок серії БПП-II, БПП-III і БО-I

Після встановлення зусиль в кожному стрижні для покращеної підсиленої балки було побудовано епюри моментів від зовнішнього навантаження та від дії системи підсилення для знаходження максимальної ефективності. На (рис. 6) приведена епюра моментів з врахуванням підсилення.

Напружено-деформований стан кожного перерізу підсиленої балки може визначатися за умови рівноваги згинаного моменту і поздовжніх сил в перерізі:

$$\sum M = 0 \quad M_{\text{зовн.}} = \int_A \sigma_c h d A_c + \sum_{i=1}^n \sigma_s A_s h_i + M_{nX} + M_{nY} \quad (1)$$

$$\sum N = 0 \quad N_{nX} = \int_A \sigma_c d A_c + \sum_{i=1}^n \sigma_s A_s \quad (2)$$

де:  $\sigma_c$  – напруження стиску у бетоні;  $\sigma_s$  – напруження в арматурі;  $A_c$  – площа перерізу бетону;  $A_s$  – площа перерізу арматури;  $h$  – величина плеча;  $M_{nX}$ ,  $M_{nY}$  – моменти від системи підсилення.

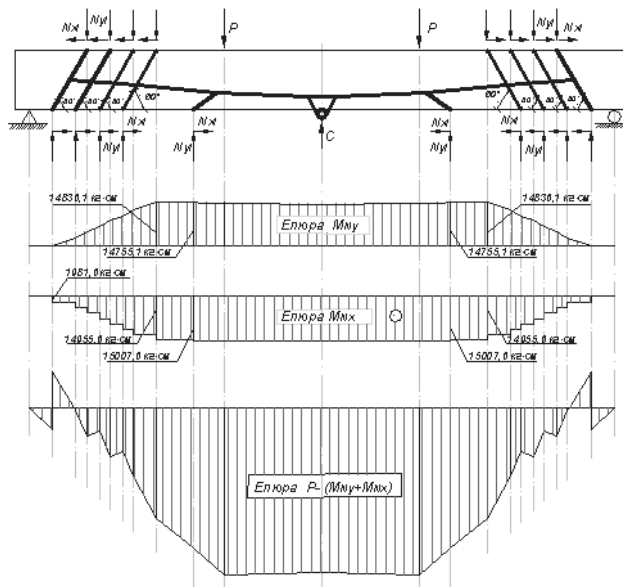


Рис.6. Елюри моментів з врахуванням підсилення балки БПП-III.

Результати аналізу даних досліджень покращеного варіанту системи регульованого підсилення залізобетонних балок доводить, що дія затяжки викликає деформації похило розташованої зовнішньої арматури, що створює розвантажуючі зусилля в верхній зоні балки і стискуючі зусилля в нижній її зоні.

В табл. 1 наведено експериментальні значення максимальних моментів та моментів тріщиноутворення, а також значення прогинів для фіксованого моменту 4,02 кН·м, а в табл. 2 наведено ефективність випробування балок.

Таблиця 1

Результати випробування балок

Найменування	$M_{\max}$ , кН·м	$M_{\text{сгс}}$ , кН·м	$W_{\text{сгс}}$ , мм	$W_{\text{фік}}$ , мм при ( $M=4,02$ кН·м)
Балка БО	4,79	3,20	0,74	3,82
Балка БПП-II	5,54	3,75	1,75	2,57
Балка БПП-III	7,65	4,67	2,30	1,36

Таблиця 2

Ефективність підсилення балок

Найменування	$M_{\text{підс, max}} /$ $M_{\text{БО max}}$	$M_{\text{підс, сгс}} /$ $M_{\text{БО сгс}}$	$W_{\text{підс, сгс}} /$ $W_{\text{БО сгс}}$	$W_{\text{підс, фік}} /$ $W_{\text{БО фік}}$
БПП -II	1,16	1,17	2,37	1,49
Балка БПП-III	1,60	1,46	3,12	2,8

**Висновки** Збільшення несучої здатності в результаті випробування підсиленних балок БПП-III склало 37%, БПП-II склало 13,5% порівняно зі звичайною балкою. Після удосконалення саморегульованої системи підсилення балок шляхом раціонального перерозподілу напружень між стисненою та розтягнутою зонами встановлено, що серії БПП-III витримала навантаження в 1,6 рази більше ніж звичайна балка, а БПП-II витримала навантаження в 1,16 рази більше. Виходячи з експериментальних досліджень система підсилення балок БПП-III є найбільш ефективною.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування // Мінрегіонбуд України, Київ, 2009. – 97с. 2. ДБН В.1.2-14:2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ // Мінрегіонбуд України, Київ, 2009. – 11-19с. 3. Барашиков А.Я., Малышев А.Н. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений. – К.: НМЦ Держнаглядхоронпраці, 1998.-232 с. 4. Бабич Є.М. Дослідження роботи згинальних залізобетонних елементів таврового перерізу за дії високих рівнів малоциклового навантаження // Є.М. Бабич, П.С. Гомон / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: Збірник наукових праць, – Рівне: НУВГП, 2010.– Випуск 20.– С.157-163 5. Стороженко Л.І, Тимошенко В.М. Стелезалізобетонні структурні плити для пролітних будо мостів / Стороженко Л.І, Тимошенко В.М.// Збірник наукових праць «Дороги і мости», вип. 9 – Київ, 2008. – 254-260с. 6. Шагин, А.Л. Локальное предварительное напряжение железобетонных и сталежелезобетонных конструкций / А.Л. Шагин // Юбилейные научные чтения по проблемам теории железобетона. Наука, технологии, производство: сб.тр. – М.: МИКХиС,2009. – С. 107 – 116. 7. Гольшев А.Б., Ткаченко И.Н. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. – К.: Логос, 2001.- 172с. 8. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий / Е.А. Рабинович, Ю.Д. Кузнецов, Н.П. Рунцо (и др.) // . – Москва: Стройиздат, 1992. – 265 с. 9. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. – Ленинград, 1965. - 342 с. 10. Чеканович М.Г. Дослідження роботи конструкції підсилення залізобетонних балок виконаної у вигляді взаємопов'язаних затяжки та розтяжки/ М.Г. Чеканович, О.М. Чеканович// Ресурсоекономні матеріали, конструкції та споруди: зб. наук. праць, вип. 20-Рівне,2010. 11. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: навчальний посібник/ Є.В. Клименко. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. - С. 171 12. Patent No.: CN 102936965 A Jiang De «Method for strengthening reinforced concrete beam through distributed external prestressing cables» 2013.02.20 13. Patent No.: US 7,748,180 B1 Richard W. Plavidal «Joist stiffening system» Jul. 6, 2010 14. Patent No.: US 7,056,463 B2 Toshiaki Ohta, Fukuoka (JP) Japan Science and Technology Agency, Saltama (JP) «Method of manufacturing prestressed Concrete» Jun. 6, 2006 15. Усиление железобетонных конструкций (Пособие П 1-98) - Міністерства архітектури і будаўніцтва Рэспублікі Беларусь Мінск 1998 16. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий – Стройиздат, Москва, 1989 17. Патент № 87047 Україна, МПК E04C3/00. Регульованообгиснена залізобетонна балка/ Чеканович М.Г.; заявник і патентовласник: Чеканович М.Г - №а 200710856; заявл. 01.10.2007; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11. 18. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 169-171с.