

УДК 624.01

**РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК,  
ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ ГНУЧКОЮ СТАЛЕВОЮ  
АРМАТУРОЮ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК,  
УСИЛЕННЫХ ВНЕШНЕЙ ГИБКОЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРОЙ**

**THE TEST RESULTS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS  
STRENGTHENED WITH EXTERNAL FLEXIBLE STEEL BARS**

**Журахівський В.П.,** аспірант, асистент кафедри будівництва (Херсонський державний аграрний університет)

**Жураховский В.П.,** аспирант, ассистент кафедры строительства (Херсонский государственный аграрный университет)

**Zhurakhivskiy V.P.,** post-graduate student, the department of construction (Kherson State Agricultural university)

В статті представлено результати випробувань залізобетонних балок прямокутного перерізу, підсилені зовнішньою сталевією арматурою. Відсутність в конструкції підсилення жорстких елементів дозволяє зменшити її вагу та витрати сталі на її виконання. Система підсилення є регульованою, вона дозволяє підвищити міцність до 4,4 разів, значно зменшуючи при цьому показники деформативності. Крім обтиснення нижньої розтягнутої фібри балки, відбувається розвантаження верхньої стиснутої зони балки.

В статье представлены результаты испытаний железобетонных балок прямоугольного сечения, усиленных внешней стальной арматурой. Отсутствие в конструкции усиления жестких элементов позволяет уменьшить ее вес и расход стали на ее выполнение. Система усиления является регулируемой, она позволяет повысить прочность до 4,4 раз, значительно уменьшая при этом показатели деформативности. Кроме обжатия нижней растянутой фибры балки, происходит разгрузка верхней сжатой зоны балки.

The article presents the test results of reinforced concrete rectangular cross-section beams strengthened with external flexible steel bars. Lack of rigid elements in the strengthening system reduces the weight and the cost for its implementation. The proposed strengthening system is regulating. It shows an

increase in the carrying capacity up to 4.4 times, while significantly reducing beam deformability. Besides compression the bottom strained beam zone, the proposed system unloads the upper compressed beam fiber.

**Ключові слова:**

Залізобетонна балка, підсилення, зовнішня гнучка сталева арматура, несуча здатність, деформативність.

Железобетонная балка, усиление, внешняя стальная гибкая арматура, несущая способность, деформативность.

Reinforced concrete beam, strengthening, external flexible steel bar, carrying capacity, deformability.

Впровадження ефективних способів підсилення будівельних конструкцій на сьогодні є актуальним питанням, бо воно тісно пов'язане з реконструкцією існуючих будівельних об'єктів, їх переоснащенням. Згинані елементи виступають одними з найбільш розповсюджених і часто саме вони в складі перекриттів або покриттів мають ознаки значного фізичного зносу або часткову втрату міцності.

Серед існуючих заходів підвищення несучої здатності балок, є збільшення висоти поперечного перерізу, встановлення затяжок для обтиску розтягнутої зони, влаштування дублюючих елементів, що знайшло відображення у вітчизняних та закордонних працях [1-5].

Розглянемо запропоновану нову конструкцію підсилення залізобетонних балок зовнішньою арматурою з використанням жорстких важелів, що захищена повним патентом України [6]. Дана конструкція балки була удосконалена, виконана і експериментально досліджена. В даному конструктивному вирішенні жорсткі важелі були замінені на гнучкі сталеві арматурні стрижні, що дозволило зменшити витрати сталі та вагу самої конструкції, не тільки не втративши при цьому показники міцності, а навіть дещо збільшивши їх. Особливістю роботи даної конструкції є можливість розвантаження верхньої стиснутої грані балки, шляхом створення зусилля розтягу дією зовнішньої арматури підсилення на балку. Запропонована удосконалена система підсилення представлена на рис. 1.

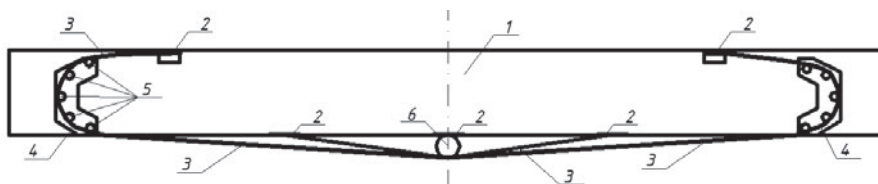


Рис. 1. Вид балки з запропонованою регульованою конструкцією підсилення зовнішньою арматурою серій БП-VI і БП-VII

1 - залізобетонна балка; 2 – закладні деталі; 3 – зовнішня арматура; 4 – асиметрична закладна деталь; 5 – направляючі котки на деталі 4; 6 –коток.

Для проведення випробування запропонованої конструкції підсилення залізобетонних балок була розроблена програма експериментальних досліджень, в яку входило випробування зразків бетонних кубів, призм, сталевих стержнів. Розміри дослідних зразків балок: довжина - 2100 мм, поперечний переріз: 100x200 мм. Клас бетону експериментальних балок прийнятий однаковим – С35/45.

В дослідженні було прийнято армування у вигляді просторового каркасу виконаного з одного класу і діаметру арматури. Клас робочої арматури був прийнятий А-240С. Арматура стиснутої і розтягнутої зон балки використовувалася з двох стержнів фактичним діаметром 6,5 мм для всіх зразків дослідних балок.

В дослідженні прийняте наступне маркування балок: перші літери вказують на наявність (БП) чи відсутність конструкції підсилення (БО), друга цифра – номер серії, третя – порядковий номер балки в серії. Геометричні характеристики експериментальних балок, їх армування наведені у табл. 1.

Таблиця 1.

Геометричні характеристики елементів підсилення балок

| № | Серія балок | $d$ , мм | $n$ | $c$ , мм | Вид підсилення | $a$ , мм |
|---|-------------|----------|-----|----------|----------------|----------|
| 1 | БО          | -        | -   | -        | -              | -        |
| 2 | БП-VI       | 55       | 2   | 70       | без важелів    | 620      |
| 3 | БП-VII      | 55       | 2   | 70       |                | 185      |

$d$  - діаметр котка посередині прольоту під балкою;

$n$  – кількість зовнішніх арматурних стержнів в кожній гілці системи підсилення;

$c$  - відстань від нижньої грані балки до точки максимальної кривини зовнішньої арматури на закладних деталях біля торців балки;

$a$  - відстань від опори до місця закріплення зовнішньої арматури на нижній грані балки.

Зовнішня арматура розташовувалася симетрично у вигляді двох гілок по кінцям балки. Особливістю роботи запропонованої конструкції підсилення було розвантаження стиснутої зони бетону балки з одночасним обтиском нижньої розтягнутої фібри, що досягалося завдяки саморегулюванню системи під впливом зовнішнього навантаження.

Основні результати випробувань серій звичайних балок та балок, підсилення зовнішньою арматурою, зведені до таблиць 2 - 4 та представлені у вигляді графіків (рис. 2-5).

В таблиці наведені максимальні досягнуті значення прогинів і моментів в експерименті та їх значення при фіксованому параметрі. В першому випадку - при фіксованому прогині 10 мм, а в другому випадку - при моменті, що відповідає несучій здатності звичайної балки.

Таблиця 2.  
Несуча здатність підсилених серій балок та серії звичайних балок

| Найменування балки | Згинальний момент, $M$ , кНм |                             | Прогин посередині прольоту $w$ , мм |                  |
|--------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|
|                    | при $w_{max}$                | при $w = \frac{1}{200} L_0$ | при $M_{max}$                       | при $M=4,79$ кНм |
| БО                 | 4,79                         | 4,772                       | 14,29                               | 14,29            |
| БП-VI              | 15,69                        | 14,407                      | 15,04                               | 0,897            |
| БП-VII             | 21,193                       | 16,086                      | 19,85                               | 0,621            |

Таблиця 3.  
Відносні деформації бетону центрального перерізу підсилених серій балок та серії звичайних балок

| Найменування балки | При досягненні несучої здатності, $M_{max}$ , кНм |                                   | При досягненні несучої здатності звичайної балки $M=4,79$ кНм |                                   |
|--------------------|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
|                    | $\varepsilon_{c1} \times 10^{-5}$                 | $\varepsilon_{c2} \times 10^{-5}$ | $\varepsilon_{c1} \times 10^{-5}$                             | $\varepsilon_{c2} \times 10^{-5}$ |
| БО                 | 320,67  | -489,33                           | 320,67  | -489,33                           |
| БП-VI              | 106,33  | -133,67                           | 21,62   | -16,09                            |
| БП-VII             | 125   | -119,07                           | 16,38   | -16,52                            |

Таблиця 4.  
Прогини посередині прольоту серій підсилених та серії звичайних балок

| Найменування балки | $\frac{M_{BP}}{M_{BO}}$ |                             | $\frac{w_{BP}}{w_{BO}}$ |                  |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|
|                    | при $w_{max}$           | при $w = \frac{1}{200} L_0$ | при $M_{max}$           | при $M=4,79$ кНм |
| БО                 | 1                       | 1                           | 1                       | 1                |
| БП-VI              | 3,276                   | 3,019                       | 1,052                   | 0,0628           |
| БП-VII             | 4,424                   | 3,371                       | 1,389                   | 0,043            |

За результатами випробування було побудовано залежності «прогин - згинальний момент» посередині прольоту та в третинах прольоту; «відносні фіброві деформації бетону - згинальний момент» центрального перерізу та перерізу в третині прольоту балки, під місцем прикладання зовнішніх зосереджених сил (рис. 2-5).

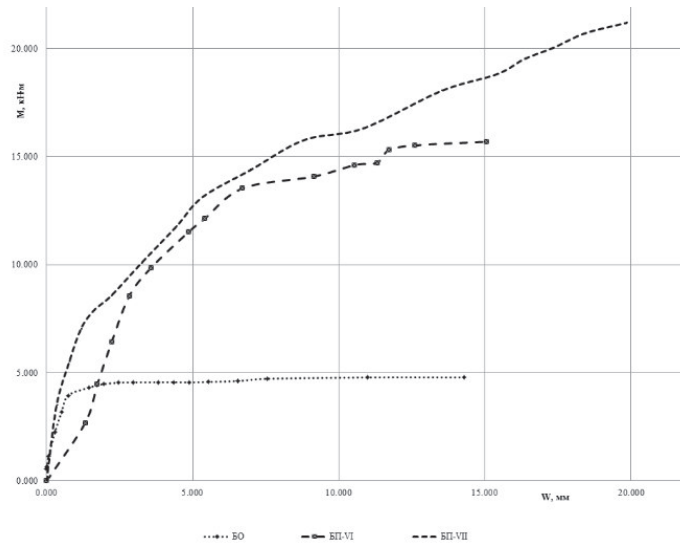


Рис. 2. Залежності «згинальний момент-прогин посередині прольоту» серій підсилених та звичайних балок

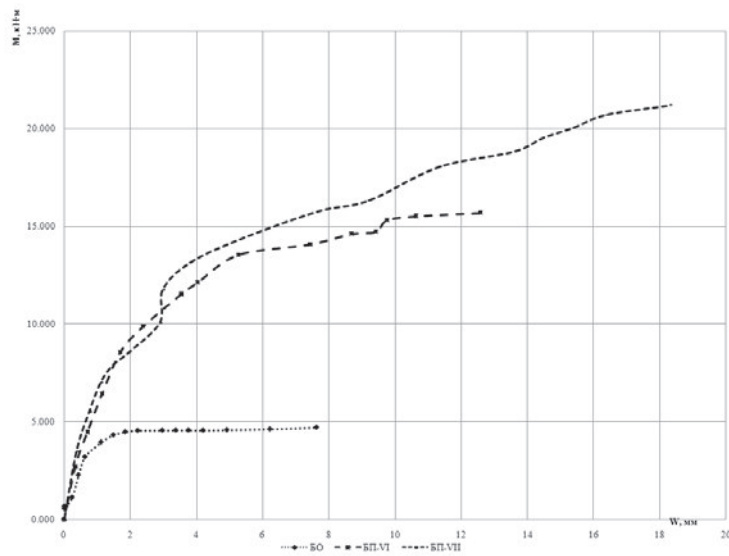


Рис. 3. Залежності «згинальний момент-прогин в третині прольоту» серій підсилених та звичайних балок

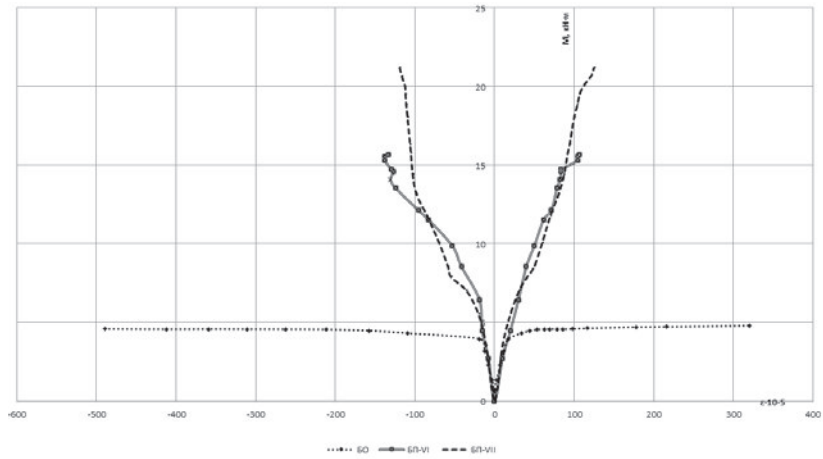


Рис. 4. Залежності «відносні фіброві деформації бетону центрального перерізу – згинальний момент» серій підсилених та звичайних балок

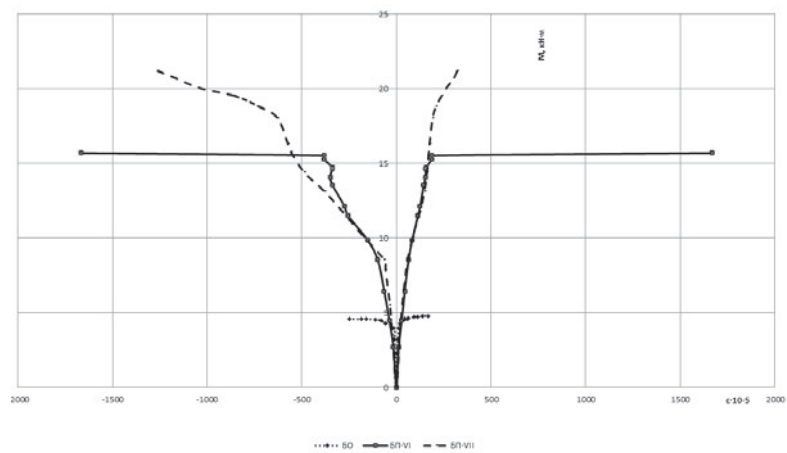


Рис. 5. Залежності «відносні фіброві деформації бетону перерізу в третині прольоту – згинальний момент» серій підсилених та звичайних балок

Під час випробування встановлено, що робота підсилених балок була більш пружною, зменшилась їх деформативність, підвищилась міцність до 4,42 рази. З двох серій балок, підсилених зовнішньою сталевую гнучкою арматурою, найбільш ефективною виявилась серія БП-VII із закріпленням гілки арматури на нижній грані балки на відстані 185 мм від опори. Останнє пояснюється дією розвантажувальних моментів системи підсилення. Загальний вигляд балок після випробування із характерним тріщиноутворенням наведено на рис 6.

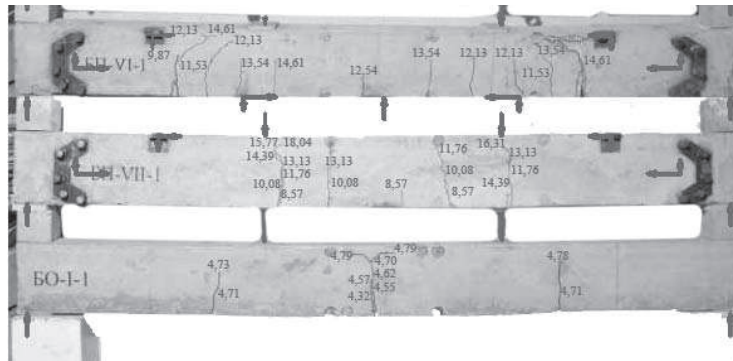


Рис 6. Характерне тріщиноутворення та руйнування експериментальних балок

**Висновки.** Була удосконалена нова конструкція підсилення залізобетонних балок прямокутного перерізу. Замість жорстких елементів у запропонованій системі підсилення використовувалися тільки зовнішні гнучкі сталеві стрижні, що сприяло зменшенню витрат сталі та вазі конструкції. Разом з тим система була регульована і дозволила перерозподіляти зусилля в балці: одночасно розтягувати верхню стиснуту зону та обтискати нижню розтягнуту зони балки. Таким чином, під час експериментальних випробувань моделей підсилених та звичайних балок встановлено, що завдяки застосуванню запропонованої системи підсилення із гнучкою зовнішньою арматурою у вигляді двох стержнів у кожній гілці і закріпленням гілки арматури на нижній грані балки на відстані 185 мм від опори (серія БП-VII) вдалося підвищити міцність до 4,42 разів у порівнянні із звичайним еталонними зразками. При цьому показники деформативності були значно меншими і, відповідно, робота балок під навантаженням була більш пружна.

1. Бабич Є.М., Андрійчук О.В. Експериментальні дослідження деформацій залізобетону та сталеві фібробетону в елементах кільцевого перерізу//Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди/ Зб. Наук. Праць, Вип. 21. – Рівне. 2011. –с. 101-108.
2. Гольшев А.Б. Проектирование усиленной несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений/ А.Б. Гольшев, И.Н. Ткаченко. - К.: Логос, 2001. - 172 с.
3. Домбаев И.А. Обжатие железобетонных конструкций внутренним шпренгельным подкреплением с горизонтальными участками: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01/ И.А. Домбаев – Х., 1997. - 24с.
4. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений/ Н. М.Онуфриев.- Ленинград, 1965. - 342 с.
5. Шагин А.Л. Обжатие конструкций шпренгельным подкреплением с горизонтальными участками/ А.Л.Шагин, И.А. Домбаев// Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, 1997. - № 8. - С.33-36.
6. Пат. №109379 Україна, МПК Е 04С 3/20. Конструкція балкова/ Чеканович М.Г., Журахівський В.П., Чеканович О.М.; заявник і патентовласник: ЧекановичМ.Г. - №а 201410316; заявл.22.09.2014; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.