



**УДК 624.01**

Національний університет  
водних господарств  
та природокористування

## **ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗОВНІШНЬОЮ СТРИЖНЕВО – КОТКОВОЮ СИСТЕМОЮ**

### **STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH AN EXTERNAL BAR-ROLL SYSTEM**

**Чеканович М.Г., к.т.н, проф., ORCID ID: 0000-0002-9110-4109, Журахівський В.П., викладач, Чеканович О.М., к.т.н, доц.(Херсонський державний аграрний університет)**

**Chekanovych M.G., candidate of technical sciences, professor, ORCID ID: 0000-0002-9110-4109, Zhurakhivskiy V.P., lecturer, Chekanovych O.M. candidate of technical sciences, assistant professor.**

**Розглянуто підсилення залізобетонних балок зовнішньою стрижнево – котковою системою. Проведено експериментальні дослідження. Визначено несучу здатність, прогини підсилених балок. Виконано порівняння характеристик підсилених балок з традиційними. Встановлено переваги методу підсилення балок зовнішньою стрижнево – котковою системою.**

**In the area of making reinforced concrete bending elements, the use of external strengthening systems, including steel rods and levers, is one of the directions for increasing rigidity, cracking strength and bearing capacity of beam constructions. They can be used to build and enhance the spans of buildings and structures.**

**The study presents the design of a system for strengthening reinforced concrete beams that provides adjustable longitudinal compression at the expense of the energy of external load and fuller use of strength properties of materials. The specific feature of the work of this structure is the possibility of unloading the upper compressed fiber of the beam through creating tensile force by external strengthening bars on the beam.**

**This structure of reinforced beams was made and experimentally investigated. The strengthening system included external steel reinforcement in the form of two flexible bars and guide elements, located symmetrically on the lateral surface at the ends of the beam. The class of concrete of experimental beams was C35 / 45. A-240C was accepted as the class of the working bars.**

**In the course of experimental studies of the proposed reinforcing system, which includes external flexible steel bars and guiding parts for creating regulated compression, was determined that the system allowed unloading the upper compressed fiber of the beam through the tensile force of external**

**strengthening bars on the beam. Along with a 4.42-time increase in strength compared with the conventional reference samples, it became possible to significantly reduce deformability.**

**Ключові слова:**

Залізобетонна балка, підсилення, зовнішня гнучка сталева арматура, прогини, деформації, міцність.

reinforced concrete beam, strengthening, external flexible steel bars, deflection, deformations, strength.

**Вступ.** В області створення обтиснених залізобетонних згинальних елементів застосування зовнішніх систем підсилення, що включають сталеві стрижні та важелі, є одним з напрямків підвищення жорсткості, тріщиностійкості та несучої здатності балкових конструкцій. Вони можуть застосовуватися при зведенні і підсиленні прольотів будівель та споруд.

**Аналіз останніх досліджень.** Як відомо, не завжди ефект від застосування затяжок є повністю позитивним. Наприклад, горизонтальні і шпренгельні затяжки можуть прискорити руйнування верхньої зони балкової конструкції. При навантаженні переармованого згинаного елемента можливе його руйнування по стисненій зоні бетону. Отже, важливою науковою проблемою є створення ефективної системи підсилення залізобетонних згинаних елементів, яка б могла регулювати зусилля в балковому елементі і компенсувати негативний вплив зовнішнього навантаження, при цьому в повній мірі використовуючи властивості бетону і сталі елемента, що підсилюється [1-5].

**Постановка мети досліджень.** Метою роботи є ефективно відновлення і підвищення несучої здатності залізобетонних балок новою зовнішньою стрижневою – котковою системою та дослідження деформованого стану таких згинальних елементів.

**Методика досліджень.** Авторами розроблено конструкцію підсилення залізобетонних балок, що передбачає регульований поздовжній обтиск за рахунок енергії зовнішнього навантаження та більш повного використання властивостей міцності матеріалів (Патент №109379 [6]). Особливістю роботи даної конструкції є можливість розвантаження верхньої стиснутої грані балки, шляхом створення зусилля розтягу дією зовнішньої арматури підсилення на балку.

Дана конструкція підсилення балок була виконана і експериментально досліджена. Система підсилення включала зовнішню сталеву арматуру у вигляді двох гілок та направляючих елементів, що розташовувалися симетрично на бічній поверхні по кінцях балки. Клас бетону експериментальних балок був С35/45. Клас робочої арматури був прийнятий А-240С. Розміри та деталі армування балок представлені на рис. 1.

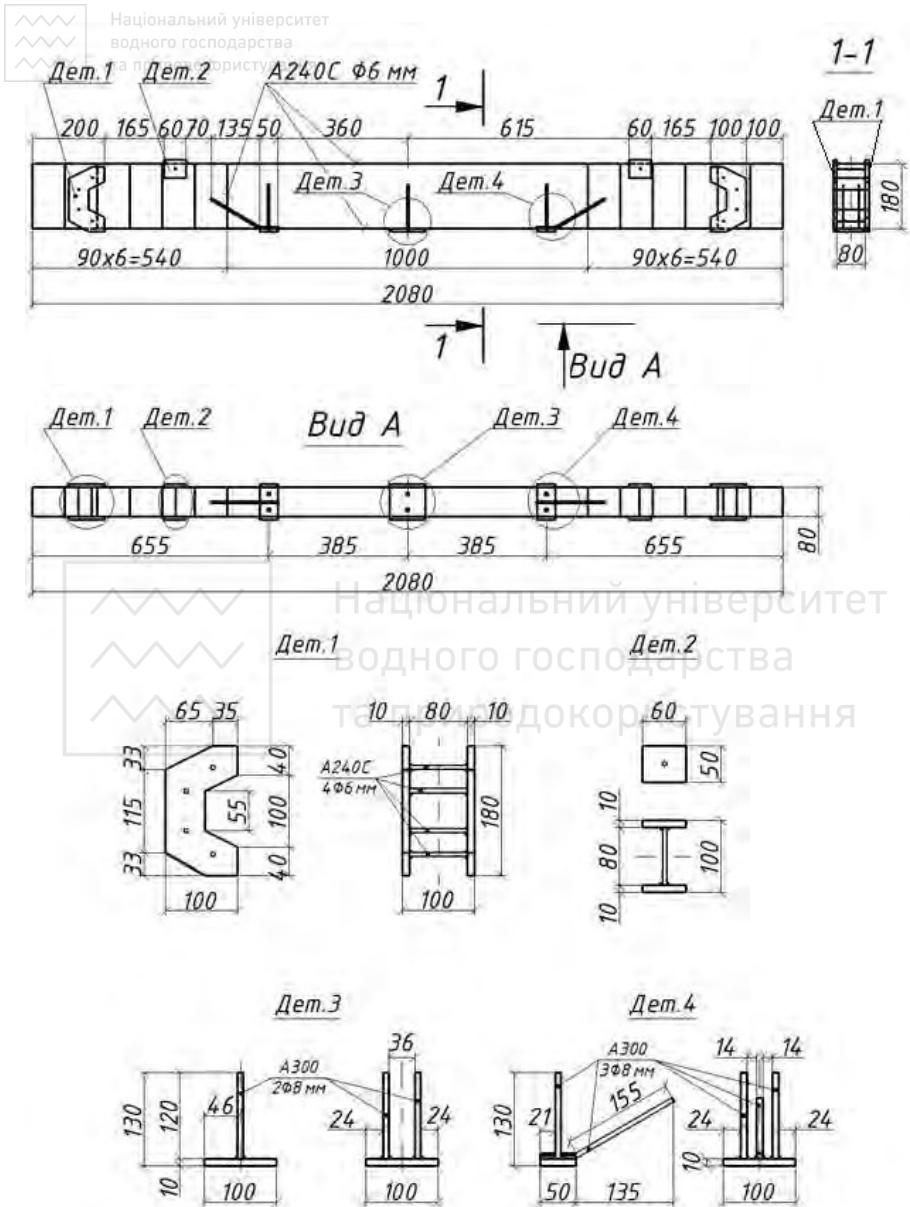


Рис. 1. Схема армування дослідних зразків балок, підсилених запропонованою конструкцією



Було випробувано серію еталонних балок без підсилення та дві серії підсилених балок. Маркування балок було наступне: літери вказують на наявність чи відсутність конструкції підсилення, цифра – номер серії. Характеристики системи підсилення балок наведені у табл. 1. В таблиці відстань від опори до місця кріплення нижнього кінця гнучкого стрижня на балці позначено як  $k$ .

Таблиця 1.

## Характеристики системи підсилення балок

№	Серія балок	Діаметр котка, $d$ , мм	Кількість стрижнів підсилення, $n$	Характеристика направляючої деталі, $s$ , мм	Вид підсилення	$k$ , мм
1	БО	-	-	-	-	-
2	БП-VI	55	2	70	Стрижнево-коткове	620
3	БП-VII	55	2	70		185

Загальний вигляд системи підсилення з направляючими деталями та гнучкими сталевими стрижнями представлено на рис. 2.



Рис. 2. Загальний вигляд підсиленої серії балок під час випробування.



Рис. 3. Випробування залізобетонних балок, підсилених зовнішньою сталевую гнучкою арматурою, серії БП-VII

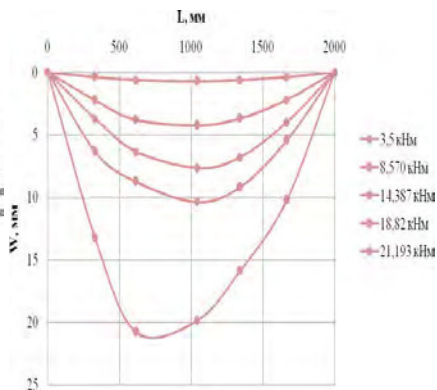
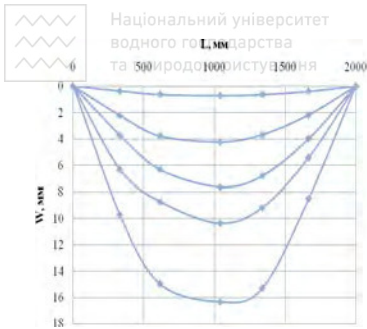
**Результати досліджень.** Результати випробування еталонної серії та двох серій підсилених балок представлені у табл.1.

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

Найменування балки	Максимальний згинальний момент, $M$ , кНм	Відповідний прогин посередині прольоту $w$ , мм
БО	4,79	14,29
БП-VI	15,69	15,04
БП-VII	21,193	19,85

З двох серій балок, підсилених зовнішньою сталевую гнучкою арматурою без важелів, найбільш ефективною -  $M=21,193$  кНм виявилася серія БП-VII із закріпленням гілки арматури у вигляді двох паралельних стержнів  $\varnothing 5$  мм на нижній грані балки на відстані 185 мм від опори і діаметром котка посередині прольоту  $d_k=55$  мм.

В рамках експериментальних досліджень вивчався характер деформування підсилених балок серій (БП-VI та БП-VII) в ході збільшення зовнішнього навантаження. Прогини підсилених балок представлені графіками на рис. 4 і 5. Деформування серії еталонних балок БО наведено на рис. 5.



а) б)

Рис. 4. Епюри прогинів підсиленних балок серії БП-VI -а) і балок серії БП-VII -б) при фіксованих значеннях згинального моменту

Ефект від підсилення за прогинами представлений у таблиці 2 та на графіках прогинів балок серії БП-VI та БП-VII та БО при  $M=4,791$  кНм (рис. 5). Вказана величина моменту відповідає несучій здатності балок серії БО.

Таблиця 2. Прогини підсиленних серій балок та серії звичайних балок

Найменування балки	Згинальний момент, $M$ , кНм	Відповідний прогин посередині прольоту $W$ , мм
БО	4,79	14,29
БП-VI	4,79	0,897
БП-VII	4,79	0,621

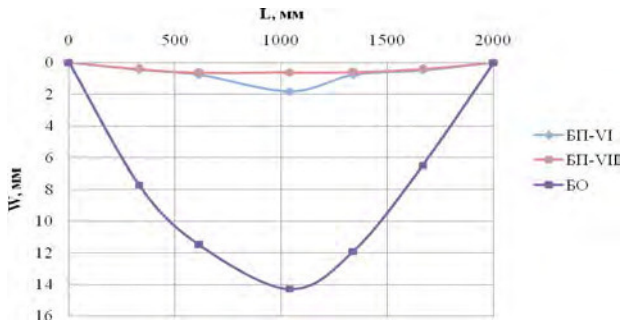


Рис. 5. Прогини балок серії БП-VI і БП-VII та еталонної БО при  $M=4,791$  кН м



Як видно з рис. 5. найбільш жорсткою виявилася серія підсилених балок БП-VII. Так при досягненні моментами величини несучої здатності 4,791 кНм – для серії БО, максимальні прогини балок БП-VII були набагато меншими за прогини балок без підсилення.

Для порівняння жорсткості двох серій підсилених балок БП-VI та БП-VII побудовано залежності, представлені на рис. 6. Результати представлені у таблиці 3.

Таблиця 3.

## Прогини підсилених серій балок

Найменування балки	Згинальний момент, $M$ , кНм	Відповідний прогин посередині прольоту $w$ , мм
БП-VI	15,693	14,407
БП-VII	15,693	7,403

Рис. 6. Прогини підсилених серій балок БП-VI та БП-VII при  $M=15,695$  кНм

З двох серій підсилених балок більш жорсткою виявилася серія БП-VII. При величині моменту  $M=15,695$  кНм, що відповідає серії БП-VI зменшення прогинів балок серії БП-VII склало 2,12 разів у порівнянні із серією БП-VI. Інтенсивність зростання прогинів збільшувалась із зростанням навантаження. Асиметричність графіків при високому рівні навантаження пояснюється характером тріщиноутворення. Так в балці серії БП-VII прогини більші зі сторони збільшеного за величиною розкриття тріщин в розтягнутій зоні.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень запропонованої системи підсилення залізобетонних балок, що включає гнучку сталеву зовнішню арматуру та направляючі деталі для створення регульованого обтиску встановили, що система дозволила розвантажити верхню стиснуту грань балки, шляхом створення зусилля розтягу дією



зовнішньої арматури підсилення на балку. Разом із підвищенням міцності до 4,42 рази у порівнянні із звичайним еталонними зразками вдалося значно зменшити показники деформативності. Встановлено, що найбільш ефективною виявилася серія балок БП-VII із закріпленням гнучкої арматури на нижній грані балки на відстані 185 мм від опори.

1. Бабич В. С. Практичний метод розрахунку прогинів залізобетонних балок за ДСТУ В В.2.6-156: 2010 / Бабич В. С. // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. – 2012. – № 101. – Харків : ХНУМГ, 2012.

2. Губій М.М. Проектування ремонту й підсилення будівель і споруд із застосуванням сучасних матеріалів і технологій: навчальний посібник, 2-ге видання, стереотипне/ М.М. Губій, Р.М. Ахмеднабієв. - Х.: Тимченко, 2009. –С.166-175.

3. Лаххам Х. Рациональные схемы локального предварительного напряжения изгибаемых элементов/ Х. Лаххам, М. Рифаи, Г.Ш. Салия // Материалы конф.: Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях. - Сумы: Мрия, 1994. - С.69-70.

4. Салия Г.Ш. Локально предварительно напряженные элементы с арматурой А-III/ Г.Ш. Салия// Збірник наукових статей: Проблеми теорії і практики залізобетону. - Полтава, 1997. - С. 410-413.

5. Шагин А.Л. Конструкции с локальным предварительным напряжением/ А.Л. Шагин// Материалы конф.: Научно-практичные проблемы современного железобетона. – К., 1996.- С. 193-196.

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.

1. Babych V. Ye. Praktychnyi metod rozrakhunku prohyniv zalizobetonnykh balok za DSTU В В.2.6-156: 2010 / Babych V. Ye. // Komunalne hospodarstvo mist : nauk.-tekh. zb. – 2012. – № 101. – Kharkiv : KhNUMH, 2012.

2. Hubii M.M. Proektuvannia remontu y pidsylennia budivel i sporud iz zastosuvanniam suchasnykh materialiv i tekhnolohii: navchalnyi posibnyk, 2-he vydannia, stereotypne/ М.М. Hubii, R.M. Akhmednabiiiev. - Kh.: Tymchenko, 2009. –S.166-175.

3. Lakhkham X. Ratsyonalnye skhemy lokalnoho predvartelnoho napriazheniya yzghybaemykh elementov/ X. Lakhkham, M. Ryfay, H.Sh. Salyia // Materyaly konf.: Sovershenstvovanye stroytelnykh materialov, tekhnolohiy y metodov rascheta konstruksiy v novykh ekonomycheskykh uslovyiakh. - Sумы: Mryia, 1994. - S.69-70.

4. Salyia H.Sh. Lokalno predvartelno napriazhennyye elementy s armaturoi А-III/ H.Sh. Salyia// Zbirnyk naukovykh statei: Problemy teorii i praktyky zalizobetonu. - Poltava, 1997. - S. 410-413.

5. Shahyn A.L. Konstruksyy s lokalnym predvartelnym napriazheniyem/ A.L. Shahyn// Materyaly konf.: Naukovo-praktychni problemy suchasnoho zalizobetonu. – K., 1996.- S. 193-196.

6. Pat. №109379 Ukraina, MPK E 04S 3/20. Konstruktssiia balkova/ Chekanovych M.H., Zhurakhivskiy V.P., Chekanovych O.M.; zaiavnyk i patentovlasnyk: ChekanovychM.H. - №а 201410316; zaiavl.22.09.2014; opubl. 25.02.2015, Biul. № 4.