

*М.Г. Чеканович, к.т.н., професор
О.М. Чеканович, к.т.н., доцент
В.П. Журахівський, аспірант
Херсонський державний аграрний університет*

МІЦНІСТЬ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ВАЖІЛЬНО-СТРИЖНЕВОЮ СИСТЕМОЮ

Запропоновано нову важільно-стрижневу систему підсилення для однопрольотної сталезалізобетонної балки, що дозволяє раціонально перерозподіляти зусилля між стиснутою і розтягнутою зонами балки при дії зовнішнього навантаження.

***Ключові слова:** сталезалізобетонна балка, важільно-стрижнева система, зовнішня арматура, міцність.*

Вступ. Проблема забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель і споруд є актуальною для будівельного комплексу України [1]. На сьогодні через недостатнє фінансування утримання будівель та споруд якісні показники будівельних конструкцій значною мірою знижуються. Чимала кількість об'єктів потребує реконструкції та ремонту або повної заміни існуючих конструкцій на якісно нові, більш ефективні, до яких належать сталезалізобетонні конструкції.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Відомо достатньо багато ефективних методів підвищення міцності згинаних елементів [2, 3], серед яких перспективним напрямом виступає застосування додаткового зовнішнього підсилення у вигляді сталевих затяжок [4 – 9]. Традиційно застосовують затяжки трьох типів: горизонтальні, шпренгельні та комбіновані. Підвищення міцності балок із затяжками здійснюється за рахунок зусилля поздовжнього обтиску й дії додаткових умовних (податливих) опор у прольоті.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. При застосуванні затяжок у конструкціях для підсилення неможливо здійснити повною мірою раціональний перерозподіл зусиль між нижньою розтягнутою та верхньою стисненою гранями зігнутого елемента відповідно до величини зовнішнього навантаження. Відсутні дослідження, які розглядають штучне зниження зусиль стиску у верхній зоні балкової конструкції під навантаженням з одночасним зменшенням зусиль розтягу в нижній зоні зігнутого елемента у певній пропорції.

Постановка завдання. Метою роботи є створення нової ефективної системи підсилення для однопролітної сталезалізобетонної балки прямокутного перерізу, що дозволяє значно підвищити її міцність і жорсткість, раціонально використовуючи властивості міцності бетону та сталі.

Основний матеріал і результати. Автори пропонують виконати підсилення сталезалізобетонної балки затяжкою в нижній розтягнутій та розтяжками у верхній стисненій зоні балки. Загальний вигляд такої конструкції підсилення наведений на рис 1.

У результаті деформацій балки під навантаженням траверса відхиляє арматуру затяжки донизу на величину максимального центрального прогину балки одразу у двох точках контакту. Відбувається значне видовження арматури. На торцях балки, в місцях розташування котків, виникає розпір, що створює поздовжній обтиск балки. Обернено пропорційно до величин плечей важелів в арматурі розтяжок і затяжки виникають зусилля розтягу, що призводить до розвантаження верхньої стиснутої фібри балки з одночасним обтиском її нижньої розтягнутої зони. При знятті зовнішнього навантаження напруження від дії важільно-стрижневої системи (ВСС) практично зникає.

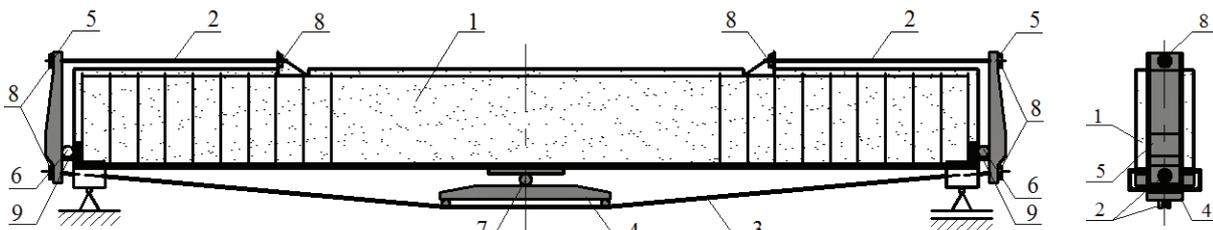


Рисунок 1 – Загальний вигляд сталезалізобетонної балки, підсиленої важільно-стрижневою системою, збоку та з торця: 1 – сталезалізобетонна балка; 2 – розтяжки; 3 – затяжка; 4 – траверса; 5 – двоплечові важелі; 6, 7 – котки; 8 – комплект кріплень зі сферичними шайбами; 9 – упор

Запропонована конструкція підсилення з інтенсивним натягом арматури затяжки й розтяжок під дією зовнішнього навантаження [10] дозволяє перерозподіляти зусилля в балці, підвищувати несучу здатність, тріщиностійкість та зменшувати прогин. Особливістю ВСС є те, що немає необхідності її значного попереднього напруження, достатньо, аби конструкція підсилення не провисала і включилася в роботу з початку навантаження згинаючого елемента.

У рамках цього дослідження виконаний числовий експеримент, метою якого було визначення міцності сталезалізобетонної балки, підсиленої важільно-стрижневою системою при різних співвідношеннях розмірів складових елементів конструкції підсилення. Була прийнята однопролітна шарнірно обперта сталезалізобетонна балка з розмірами прямокутного перерізу 140x70 мм та довжиною 1500 мм. Загальна кількість зразків балок у числовому експерименті склала 30. Попередньо розглядалися декілька варіантів довжини горизонтальної траверси і положення її по вертикалі. Виходячи з того, що значна довжина траверси потребує невиправданих витрат сталі для забезпечення її жорсткості, а віднесення її положення вниз збільшує робочу висоту, дійшли висновку, що раціональним буде прийняти відстань між котками траверси в експерименті 300 мм, а віднесення їх відносно нижньої грані балки – 88 мм. Процент армування сталезалізобетонних балок був прийнятий 2,61%. У розрахунку варіювалися такі параметри: місце прикладання зусиль розтягу на верхній грані балки; рівень передачі зусилля обтиску на торці балки.

Для визначення вихідних параметрів – несучої здатності підсиленних сталезалізобетонних балок – для вибраних факторів було задано непарне число рівнів, що дорівнювали п'яти.

Місце прикладання зусиль розтягу до верхньої грані балки представлено відносною розрахунковою довжиною розтяжки k : 0; 0,066 L_0 (92,93 мм); 0,133 L_0 (185,85 мм); 0,199 L_0 (278,78 мм); 0,266 L_0 (371,7 мм); 0,398 L_0 (557,56 мм) – додаткове значення довжини розтяжки.

Рівень передачі зусилля обтиску, заданий положенням котка на торці балки відносно її нижньої грані, b : 0,107 Н (15 мм); 0,205 Н (28,75 мм); 0,304 Н (42,5 мм); 0,402 Н (56,25 мм); 0,5 Н (70 мм).

Для розрахунків була розроблена спеціальна програма, що базувалася на умовах рівноваги (1, 2) одночасно всіх перерізів за довжиною підсиленої сталезалізобетонної балки.

$$N(U) - N(N_{1x}) - B \cdot \left[\frac{f_{prism}}{\chi} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+1} - \varepsilon_2^{k+1}}{\varepsilon_{cf}^k} + \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot h_t \right] + \sum_{i=1}^m \sigma_{Si} \cdot A_{Si} \quad (1)$$

$$= 0$$

$$M(F) + M(q) + M(C) + M(U) + M(G) + M(N_{1x}) + M(N_{1y}) -$$

$$- B \cdot \left[\frac{f_{prism}}{\chi^2} \cdot \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \cdot \frac{\varepsilon_1^{k+2} - \varepsilon_2^{k+2}}{\varepsilon_{cf}^k} + \psi_{ct} \cdot f_{ct} \cdot \frac{h_t^2}{2} \right]$$

$$+ \sum_{i=1}^m \sigma_{Si} \cdot A_{Si} \cdot d_{Si} = 0, \quad (2)$$

де $N(U), N(N_{1x})$ – поздовжні сили від розпору на торці балки і від горизонтальної складової зусилля в розтяжці; $M(F), M(q), M(C), M(U), M(G), M(N_{1x}), M(N_{1y})$ – моменти відповідно: від зовнішнього зосередженого навантаження; від власної ваги підсиленої балки; від вертикальної дії розвантажуючого зусилля затяжки, прикладеного до нижньої грані балки посередині прольоту; від розпору на торці балки; від вертикальної реакції в шарнірі; від горизонтальної та вертикальної складових зусилля в розтяжці.

У розробленій методиці й програмі розрахунку були враховані такі передумови: за розрахунковий прийнято переріз, деформації в якому дорівнюють середнім за довжиною умовного блока; розподіл по висоті перерізу середніх деформацій бетону лінійний згідно з гіпотезою плоских перерізів; напруження в бетоні залежать нелінійно від деформацій і можуть визначатися поліномом p 'ятого степеня; залежність між напруженнями й деформаціями арматурної та стрічкової сталі каркаса й зовнішньої арматури конструкції підсилення приймається у вигляді окремих лінійних ділянок діаграми, параметри якої отримують експериментальним шляхом; дія системи підсилення на балку умовно представляється зовнішніми додатковими силами реакції, значення яких залежать від величин переміщень балки в місцях їх взаємодії. Таким чином була врахована деформована схема балки на кожному ступені навантаження.

Результати числового експерименту наведено в таблиці 1 і на рисунку 2, 3. У таблиці та на графіках несуча здатність кожної комбінації представлена у вигляді приведеного зовнішнього моменту m_p :

$$m_p = \frac{M_p}{B \cdot H^2} \quad (3)$$

Таблиця 1 – Міцність сталезалізобетонних балок, підсилених важільно-стрижневою системою

№ з/п	Процент армування $\mu, \%$	Розрахункова відносна довжина розтяжки k/L_0	Приведений зовнішній момент m_p (МПа)				
			Відносне положення котка на торці балки, b/H				
			0,107	0,205	0,304	0,402	0,5
1	2,61	0	7,700	7,673	7,598	7,479	7,370
2		0,066	7,741	7,679	7,577	7,411	7,278
3		0,133	7,744	7,646	7,499	7,230	7,026
4		0,199	7,744	7,628	7,414	7,047	6,846
5		0,266	7,727	7,584	7,309	6,829	7,370
6		0,398	7,142	6,625	6,057	5,448	7,278

За результатами розрахунку міцність підсиленої балки при нижньому крайньому положенні котка на її торці перевищила міцність вихідної сталезалізобетонної балки в 1,82 разу. На рисунку 2 кожній окремій кривій на графіках відповідає певне положення котка на торці балки b , що варіювалося від 0,107 до 0,5 H . Місце закріплення розтяжки k змінювалося від мінімальної величини 0 до максимальної 0,398 L_0 . Як видно з діаграм, у межах відносних розрахункових довжин розтяжок від $k=0$ до $k=0,199 L_0$ при розглянутих положеннях котка на торці балки b спостерігається незначна зміна показника несучої здатності. Починаючи з відносної довжини розтяжки 0,266 L_0 і більше, значення несучої здатності падає. При прийнятому μ і $b=0,107 H$ m_p досягає максимального значення при довжині розтяжки 0,199 L_0 . У разі, коли $b=0,205 H$, максимум на кривих спостерігається при положенні розтяжки $k=0,133 L_0$. У випадках, коли $b=(0,304 \div 0,5) H$, максимальна несуча здатність відповідає найкоротшій довжині розтяжки $k=0$.

Залежності показника несучої здатності підсилених важільно-стрижневою системою сталезалізобетонних балок від відносного положення котка двоплечого важеля b на їх

торці наведено на рисунку 3. Зі зменшенням величини b значення приведенного моменту зростає і набуває максимуму при найнижчому розташуванні котка двоплечого важеля ($b = 0,107$ Н).

У дослідженні максимальне значення несучої здатності в межах фіксованого процента армування спостерігається при найнижчому розташуванні котку на торці балки $b=0,107$ Н і довжині розтяжки $0,199 L_0$, причому коливання в значеннях приведенного моменту невагомі в межах k від $0,066$ до $0,199 L_0$.

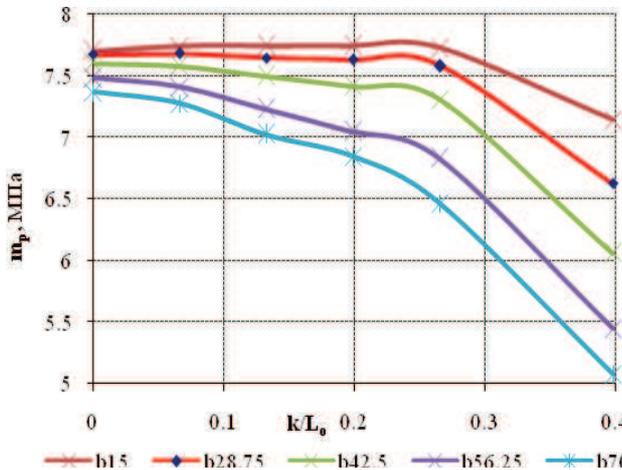


Рисунок 2 – Графіки залежностей несучої здатності від довжини розтяжки балки, підсиленої ВСС, при проценті армування 2,61%

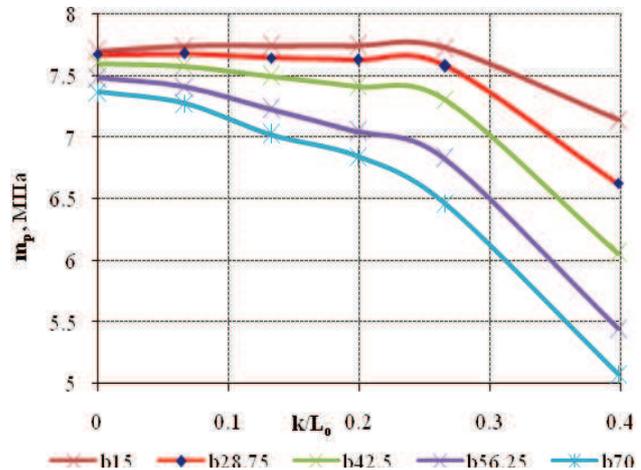


Рисунок 3 – Графіки залежностей несучої здатності від положення котка на торці балки, підсиленої ВСС, при проценті армування 2,61%

Отримані теоретичні розрахункові результати ефективності застосування важільно-стрижневої системи для підсилення сталезалізобетонних балок потребують додатково експериментальних досліджень для можливості обґрунтованого впровадження їх у будівельну практику.

Висновки:

Запропонована нова важільно-стрижнева конструкція підсилення сталезалізобетонної балки [10].

Проведено числовий експеримент на 30-ти сталезалізобетонних балках, підсиленних запропонованою важільно-стрижневою системою з різними комбінаціями параметрів конструкції підсилення: довжиною розтяжки, місцем прикладання поздовжнього зусилля обтиску на торці балки.

Установлено розрахунком, що ефект від підсилення сталезалізобетонної балки важільно-стрижневою системою за міцністю склав 1,82 разу при максимально близькому до нижньої грані розташуванні котка на торці балки – $b=0,107$ Н і при розрахунковій довжині розтяжки $k=0,199 L_0$. При цьому зміна значень несучої здатності в межах довжин розтяжки k від 0 до $0,199 L_0$ – незначна (до 0,57%), тому вказаний діапазон фактора k можна вважати ефективним.

Література

1. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 7-104.
2. Стороженко Л.И. Сталежелезобетонные конструкции [Текст] / Л.И. Стороженко, А.В. Семко, В.И. Ефименко. – К.: Четверта хвиля, 1997. – 160 с.
3. Пичугин С.Ф. Современные проблемы проектирования стальных несущих конструкций в промышленном и гражданском строительстве [Текст] / С.Ф. Пичугин, А.В. Семко,

Г.Н. Трусов // Сучасне промислове та цивільне будівництво – Макіївка: ДонНАСА, 2005. – Том 1, № 1. – С. 53-66.

4. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений [Текст] / Н. М. Онуфриев. – М., Л. : Стройиздат, 1965. – 342 с.
5. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием [Текст] / Ф.Е. Клименко. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с.
6. Фомица Л.Н. Регулирование напряжений и деформаций в железобетонных балках / Л.Н. Фомица, Ю.И. Семирненко // Материалы конф.: Совершенствования строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях. – Сумы: Мрия, 1994. – С.109.
7. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: навчальний посібник / Є.В. Клименко. – К.: «Центр навчальної літератури», 2004. – 304 с.
8. 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.
9. Кваша В.Г. Ефективні системи розширення і підсилення залізобетонних балкових прольотних будов автодорожніх мостів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01 / В.Г. Кваша. – К., 2002. – 35 с.
10. Пат. 87047 Україна, МПК E04C 3/00. Регульованообтиснена залізобетонна балка / Чеканович О.М.; заявник і патентовласник: Чеканович О.М. - № а 200710856; заявл. 10.04.2009; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.

М.Г. Чеканович, к.т.н., професор
О.М. Чеканович, к.т.н., доцент
В.П. Жураховский, аспирант
Херсонский государственный аграрный университет

ПРОЧНОСТЬ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ РЫЧАЖНО-СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Предложена новая рычажно-стержневая система усиления для однопролетной сталежелезобетонной балки, которая позволяет рационально перераспределять усилия между сжатой и растянутой зонами балки при действии внешней нагрузки.

Ключевые слова: сталежелезобетонная балка, рычажно-стержневая система, внешняя арматура, прочность.

M.G. Chekanovych, Ph.D, professor
O.M. Chekanovych, Ph.D
V.P. Zhyrakhivskiy, Post-graduate student
Kherson State Agricultural University

STRENGTH OF STEEL-REINFORCED CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH A LEVER-ROD SYSTEM

The article presents a new lever-rod strengthening system for a single-span steel-reinforced concrete beam. The proposed system allows for efficient redistribution of stresses between the compressed and tensile zones of the beam under external load.

Keywords: steel-reinforced concrete beam, lever-rod system, external reinforcement, strength.

Надійшла до редакції 30.09.2014

© М.Г. Чеканович, О.М. Чеканович, В.П. Журахівський