УДК 624.01

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ВАЖІЛЬНО-СТРИЖНЕВОЮ СИСТЕМОЮ

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ РЫЧАЖНО-СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

CARRING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH A LEVER-ROD SYSTEM

Чеканович О.М., аспірант (Національна академія природоохоронного і курортного будівництва, м. Сімферополь), **асистент** кафедри будівництва (Херсонський державний аграрний університет)

Чеканович Е.М., аспирант (Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь), **асистент** кафедры строительства (Херсонский государственный аграрный университет)

Chekanovych O. M. post-graduate student (The national academy of environmental protection and resort development), **lecturer** of the department of construction (Kherson State Agricultural university)

Наведений кореляційно-регресійний аналіз результатів розрахунку 150 залізобетонних балок, підсилених новою важільно-стрижневою системою (ВСС), з різними комбінаціями складових елементів підсилення; запропоновані рівняння для визначення несучої здатності та номограма для практичного застосування.

Приведен корреляционно-регрессионный анализ результатов расчета 150 железобетонных балок, усиленных новой рычажно-стержневой системой (РСС), с разными комбинациями составляющих элементов усиления; предложено уравнение для определения несущей способности и номограмма для практического использования.

The paper features correlation and regression analysis of the design of 150 reinforced concrete beams strengthened with a new lever-rod system including different combinations of strengthening elements; it presents equations for determining the carrying capacity of the beams under study, and a nomogram for practical application.

Ключові слова:
Залізобетонна балка, підсилення, важільно-стрижнева система, кореляційно-регресійний аналіз, номограма
Железобетонная балка, усиление, рычажно-стержневая система, корреляционно-регрессионный анализ, номограмма
Reinforced concrete beam, strengthening, lever-rod system, correlation and regression analysis, nomogram.

Стан питання та задачі дослідження. Традиційно реконструкція супроводжується зміною навантажень на будівельні конструкції, зміною їх первинної схеми роботи і призводить до необхідності підвищення несучої здатності згинальних елементів. Для цього часто застосовується підсилення зовнішньою арматурою у вигляді горизонтальних та шпренгельних затяжок. Питанню підсилення залізобетонних згинальних елементів зовнішньою арматурою присвячені роботи: Абовського М.П. [1], Ахмеднабієва Р.М., Воблих В.О., Гамбарова Г.А., Гитлевича М.Б., Голишева А.Б. [2], Гриневича Є.О., Губія М.М., Динельта Ю.Б., Домбаєва І.А. [3], Зубарева А.Н., Ізбаша М.Ю., Калініна А.А. [4], Клименка Є.В., Клименка Ф.Е., Кліменка В.З., Крижанівського В.Н., Ф. Леонгарда, Онуфрієва М.М. [5], Перельмутера А.В. [6], Сальникова В.І., Салії Г.Ш., Саляхова М.А., Семірненка Ю.І., Ткаченка І.Н., Фейгина Е.М, Фомиці Л.Н., Е. Фрейсіне, Шагіна О.Л. [7] та ін.

Як випливає з проаналізованих вище робіт, відсутні детальні дослідження, які розглядають підсилення залізобетонних згинальних елементів шляхом створення зусиль розтягу у верхній стисненій зоні, пов’язаного з обтиском нижньої розтягнутої фібри балкової конструкції.

Метою дослідження було визначення підсилення на несучу здатність балки в залежності від комбінацій параметрів складових елементів ВСС.

Для досягнення вказаної мети поставлені такі задачі дослідження:

1. Запропонувати нову систему підсилення залізобетонних згинальних елементів, що дозволяє раціонально перерозподіляти діючі напруження між стисненою і розтягнутою зонами балкової конструкції.
2. Виконати повнофакторний експеримент 150 залізобетонних балок, підсилених різними комбінаціями параметрів ВСС.
3. Провести кореляційно-регресійний аналіз для отримання залежності несучої здатності таких підсилених балок від параметрів запропонованої системи підсилення.

Таким чином, пропонується підсилення згинального елементу за рахунок дії розтяжок у верхній стисненій та затяжки в нижній розтягнутій зонах балки [8]. Загальний вигляд такої конструкції підсилення наведено на рис 1.

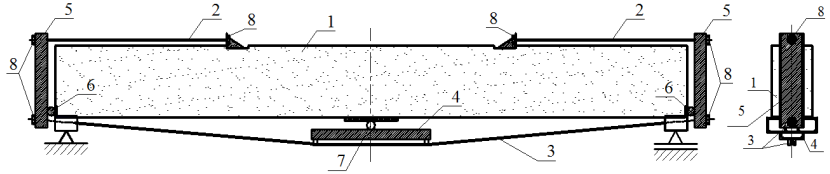

Рис. 1. Загальний вигляд дослідного зразка балки, підсиленої ВСС, збоку та з торця

1 – залізобетонна балка; 2 – розтяжки; 3 – затяжка; 4 – траверса; 5 – двоплечові важелі; 6, 7 – котки; 8 – комплект кріплень зі сферичними шайбами.

Під навантаженням балка деформується, і в результаті прогину балки траверса опускається, відхиляючи арматуру затяжки донизу на величину максимального центрального прогину одразу в двох точках контакту. Відбувається значне видовження арматури. На торцях балки, в місцях розташування котків, виникає розпір, що створює повздовжній 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 розтягнутої фібри. При знятті зовнішнього навантаження напруження від ВСС практично зникає. Таким чином, запропонована конструкція підсилення дозволяє перерозподіляти зусилля в балці з інтенсивним натягом арматури затяжки та розтяжок під дією зовнішнього навантаження, підвищити несучу здатність, тріщиностійкість та зменшити прогин залізобетонної балки. Особливістю ВСС є те, що немає необхідності її значного попереднього напруження, достатньо, аби конструкція не провисала і включилася в роботу з початку навантаження згинального елемента.

Система зовнішнього підсилення згинальних залізобетонних елементів у вигляді взаємопов’язаних двоплечевими важелями розтяжок і затяжки та траверси включається у роботу завдяки деформаціям, що передаються їй від балкової конструкції. Закріплення ВСС на згинальному елементі виконано в місцях, близьких до найбільших деформацій, що виникають під навантаженням: по центру на нижній грані балкової конструкції, де прогин, як правило, максимальний; на торці балки на відстані, близькій до її нижньої фібри та на верхній стисненій грані, де відбуваються значні переміщення балки (по горизонталі та вертикалі)

Для розрахунку було прийнято однопрольотну шарнірно обперту балку з пропорціями ширини, висоти і довжини: 1:2:21,4. У числовому експерименті варіювалися три найбільш важливих параметри з раціональним непарним числом рівнів, які дорівнювали п’яти.

1) процент армування: 1,14%; 1,304%;1,794%; 2,354%; 2,61%.

2) місце передачі зусиль від розтяжок: 0; 0,066 L_0; 0,133 L_0; 0,199 L_0; 0,266 L_0; додатково - 0,398 L_0.

3) рівень прикладання зусилля обтиску відносно нижньої грані балки: 0,107Н; 0,205Н; 0,304Н; 0,402Н; 0,5Н.

Для отримання екстремумів на графіках ефектів було прийнято додаткове місце закріплення розтяжки на відстані 557,2 мм від опор або 0,398 від розрахункового прольоту L_0. 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 жорсткості, а віднесення її положення вниз зменшує вільний простір під балкою і відповідно збільшує робочу висоту перерізу, дійшли висновку, що раціональним у дослідженні буде прийняти довжину траверси – 300 мм, а віднесення її відносно нижньої грані балки – 88 мм.

Методика досліджень. В основу дослідження покладено математичне моделювання важільно-стрижневої системи підсилення залізобетонних балок, порівняльний, кореляційно-регресійний і статистичний аналіз теоретичних даних. Кореляційно-регресійний аналіз базується на методі найменших квадратів, який реалізований в редакторі MS Excel.

Результати досліджень. Результати розрахунку несучої здатності 150 залізобетонних балок, підсилених ВСС, з можливими комбінаціями довжин розтяжок, місця прикладання поздовжнього зусилля обтиску і проценту армування зведені до таблиці 1.

За даними числового експерименту проведено кореляційно-регресійний аналіз, отримано рівняння двохфакторних нелінійних регресій та їх тривимірні зображення, лінії рівнів. Ці моделі відображають залежність несучої здатності m_p від вхідних факторів: довжини розтяжки k, місця прикладання поздовжнього зусилля обтиску b, проценту армування перерізу μ. Запропоновані моделі мають високі показники детермінації, які складають 0,93-0,99. Це свідчить про їх адекватність і можливість практичного застосування.

Двохфакторні регресійні моделі представлені для змінних параметрів k і b та фіксованого значення проценту армування μ. Наприклад, для проценту армування μ=1,14%, відповідні тривимірні зображення та лінії рівнів наведені на рис. 2.

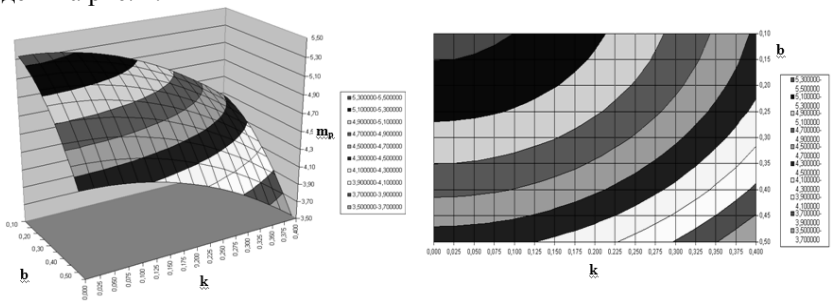

Рис. 2. Тривимірне зображення та лінії рівнів двохфакторної моделі залежності m_p від k і b для проценту армування 1,14%

Відповідне рівняння регресії має вигляд:

(1)

Для інших розглянутих у числовому експерименті процентів армування побудовано аналогічні тривимірні зображення і лінії рівнів, їх рівняння двохфакторних нелінійних регресій мають вигляд:

при μ=1,304%: (2)
при μ=1,794%: (3)
при μ=2,354%: (4)
при μ=2,61%: (5)

Отримані рівняння носять квадратичний характер. Наведені лінії рівнів дають широкі можливості для оцінки меж значень несучої здатності m_p балок, підсилених ВСС.

Для дослідження впливу одразу трьох вхідних факторів (μ, k і b) на несучу здатність балки – m_p, балки, підсиленої ВСС, була побудована трьохфакторна регресійна модель у вигляді номограми, що наведені на рис. 3. Отримане рівняння трьохфакторної нелінійної регресії, що представлене виразом:

(6)

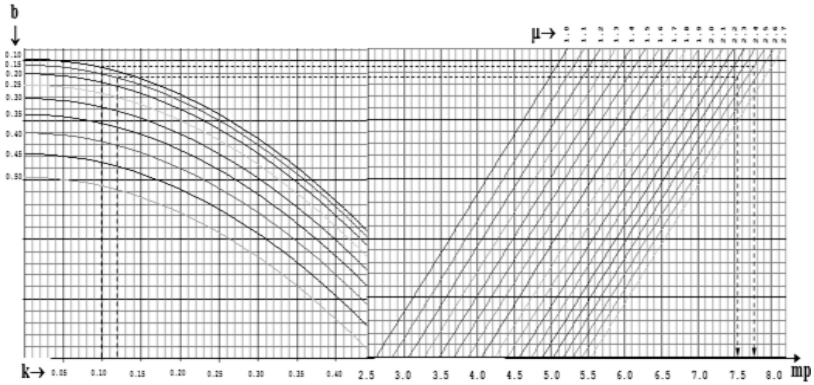

Рис. 3. Номограма трьохфакторної регресійної моделі залежності приведеного зовнішнього моменту m_p від параметрів μ, k і b

Дана модель має високі значення коефіцієнту детермінації $R^2=0,96$, при цьому стандартна похибка регресії складає σ=0,000023. Це означає, що

зміни несучої здатності обумовлюються змінами параметрів μ, k і b на 96%. Це свідчить про високу адекватність побудованих моделей і допустиму для практичного використання стандартну похибку регресії.

Можна зробити висновок, що, в цілому, найбільша несуча здатність і найменші прогини залізобетонної балки, підсиленої запропонованою ВСС, спостерігаються при мінімальних значеннях довжини розтяжки k, найнижчому положенню котку на торці балки b і, звичайно, найбільшому значенні проценту армування μ.

Висновки.

1. Запропонована нова конструкція підсилення залізобетонних балок важільно-стрижневою системою.

2. Виконаний розрахунок 150 підсилених залізобетонних балках з різними комбінаціями параметрів ВСС, досліджено їх вплив на несучу здатність балок.

3. Отримані рівняння двохфакторної нелінійної регресії залежності несучої здатності залізобетонних балок, підсилених ВСС, за якими побудовані тривимірні зображення і лінії рівнів.

4. Отримане рівняння для визначення несучої здатності таких підсилених балок в залежності від одразу трьох факторів: довжини розтяжки, місця прикладання поздовжнього зусилля обтиску на торці балки та проценту армування. За даним рівнянням побудована номограма, які зручна для практичного застосування.

1. Абовский Н.П. К развитию управляемых конструкций/ Н.П. Абовский// Строительство. - 1994.- №11.- С. 4-10.
2. Голышев А.Б. Проектирование усилений несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений/ А.Б. Голышев, 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. А. с. 1117385 СССР, МКИ^3 Е 04 С 3/10. Шпренгельная конструкция/ А. А. Калинин, А. А. Калинин, В. Н. Крыжановский (СССР). №3480029/29-33; заявл. 04.08.82; опубл. 07.10.84, Бюл. №37.
5. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений/ Н. М. Онуфриев.- Ленинград, 1965. - 342 с.
6. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций/ А.В. Перельмутер. - Киев: УФЫМБ, 1998. – 146 с.
7. 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.
8. Пат. 87047 Україна, МПК Е04С 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.