

*В.В. Муравльов, к.т.н., доцент
Ф.С. Школяр, аспірант*

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ВИНЕСЕНИМ АРМУВАННЯМ

Наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних балок з винесеним робочим армуванням. Розроблено методику проведення експерименту. Отримано дані щодо несучої здатності, деформацій і характеру руйнування досліджуваних зразків.

Ключові слова: залізобетон, балка, винесене робоче армування, експериментальне дослідження.

Вступ. Сучасне будівництво характеризується використанням нових видів конструкцій. Пошук нових видів сполучень сталі й бетону – перспективний напрям, який забезпечує економію матеріалів та створює новий клас будівельних конструкцій, що різняться як за конструктивними ознаками, так і за ступенем використання фактора спільної роботи обох матеріалів. Нові види конструкцій потребують експериментальних досліджень, які стосуються вивчення їхньої несучої здатності, деформацій і характеру руйнування.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. На основі аналізу останніх тенденцій розвитку [1] та патентно-кон'юнктурних досліджень [2] стало відомо, що залізобетонні конструкції з винесеним армуванням отримали широке розповсюдження в усьому світі [3, 4]. Уже доведено, що їх раціонально використовувати для перекриття великих прольотів (плити, балки, ригелі, ферми і т.д.) як стійки, які сприймають значні навантаження (колони промислових та цивільних будівель, опори ЛЕП і т.д.), в інженерних спорудах. Поперечні перерізи таких конструкцій можуть бути найрізноманітнішими, деякі з них уже експериментально досліджені [5].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проаналізований обсяг інформаційних джерел не дав позитивного результату в пошуку наукових праць щодо аналізу експериментальних досліджень запропонованих авторами перерізів залізобетонних балок з винесеним армуванням. Неповною мірою висвітлено також характер руйнування та впливу зовнішніх факторів на роботу конструкцій.

Постановка завдання. У результаті виконання роботи необхідно розробити методику проведення експерименту для отримання необхідних експериментальних даних про несучу здатність, деформації й характер руйнування досліджуваних зразків, отримання чіткої картини розвитку деформацій як у перерізі, так і в зоні дії поперечного зусилля та згинального моменту, переконатися, що такі конструкції надійні в роботі й експлуатації та можуть бути застосовані в промисловому та цивільному будівництві.

Основний матеріал і результати. Сутність дослідних зразків (рис. 1) полягає у конструктивному рішенні поперечного перерізу, виконаного із застосуванням сталевій труби (2), яка сумісно працює з лінійною залізобетонною складовою конструкції (1), виконаною з бетону класу С32/40 розмірами 120x80мм. Сумісність роботи бетону й сталі забезпечується за рахунок з'єднання верхнього та нижнього поясів сталевими трубами (3), привареними до сталевих пластин (4) розмірами 100x100x8 мм. Додатково бетонний пояс армований арматурною сіткою (5). При затвердінні бетон міцно зчіплюється з елементами металевих каркаса, створюючи єдину конструкцію, і під впливом зовнішніх зусиль верхній та нижній пояси працюють сумісно. Зразки випробовувалися при досягненні проектної

міцності бетону, але не раніше ніж через 28 діб після пропарювання. Перед випробуванням металеві поверхні зразків очищалися від напливів бетону і покривалися лаком за два рази. Випробування проводилося на пресі Амслера потужністю 60 т із ручним приводом.

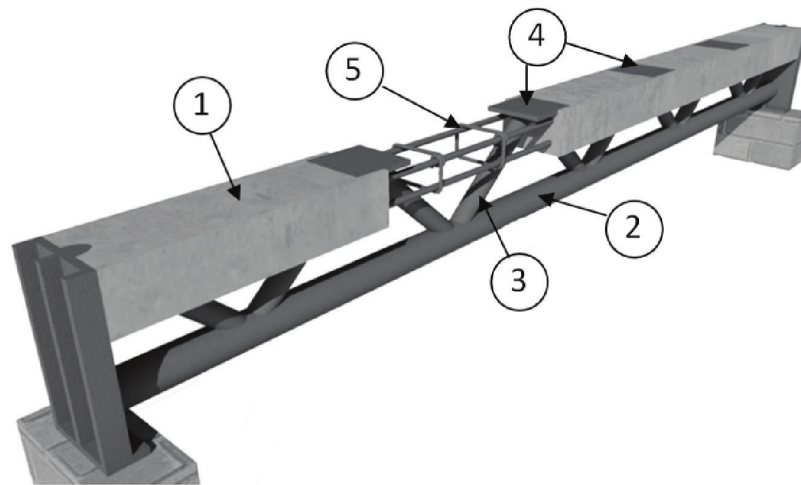


Рисунок 1 – Загальний вигляд зразка:

1 – залізобетонна лінійна конструкція; 2, 3 – труби; 4 – анкери; 5 – арматурна сітка

У процесі експериментальних досліджень визначалися величини деформацій зовнішньої поверхні металевих складових і бетону в найбільш напружених волокнах перерізу. Деформації металевих складових вимірювалися за допомогою електротензорезисторів типу 2ПКБ 20 – 200 В; зовнішньої поверхні бетону – за допомогою електротензорезисторів типу 2ПКБ 50 – 325 В. Відліки з тензорезисторів знімалися за допомогою багатоканальної вимірювальної тензометричної системи для статичних випробувань ВВП-8 (рис. 2).



Рисунок 2 – Багатоканальна вимірювальна тензометрична система для статичних випробувань ВВП-8

Схема розміщення вимірювальних приладів для дослідження нормального перерізу наведена на рисунку 3.

Згідно з прийнятою методикою проведення експериментальних досліджень випробування виконувалися на чистий згин.

У процесі досліджень нормальних перерізів експериментальних зразків під дією навантаження відмічався розвиток нормальних тріщин бетону, при підвищенні

навантаження до критичного відбувалися руйнування бетонної полиці та спостерігалася текучість сталеві складові. Відмічалася також інтенсивність збільшення прогину на початку роботи балки в пластичній стадії.

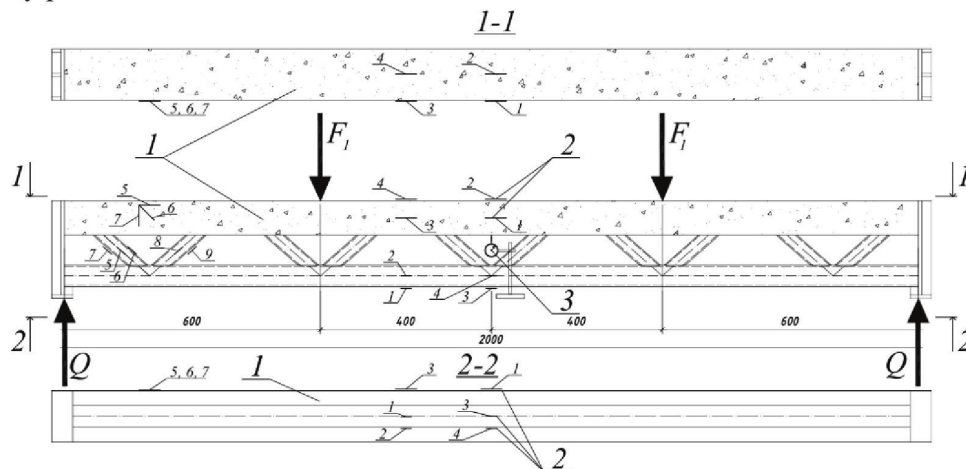


Рисунок 3 – Схема розміщення тензорезисторів при випробуванні зразка: 1 – досліджуваний зразок; 2 – тензорезистори; 3 – прогиномір

У результаті вимірювання переміщень посередині прольоту та фіксації виникнення тріщин у крайніх волокнах досліджуваних зразків за допомогою індикаторів годинникового типу, прогиноміра й електротензорезисторів отримано графіки залежності деформацій від навантаження. Посередині прольоту розміщувалися вимірювальні прилади – тензорезистори, наклеєні на арматурі та полиці, прогиномір для визначення прогинів. Отримано графіки залежності деформацій від навантаження (рис. 4 – 8).

Із наведених графіків видно, що на початковій стадії навантаження виникають переважно пружні деформації. На наступних рівнях навантаження, котрі відповідають деформаціям, при яких спостерігається текучість та утворення тріщин на бетонній полиці, відбувається втрата несучої здатності зразка.

У цілому, балка на всіх ступенях завантаження працювала як єдина монолітна конструкція. На рис. 8 зображено епюру розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразків. На рис. 11 – залежність прогину від навантаження.

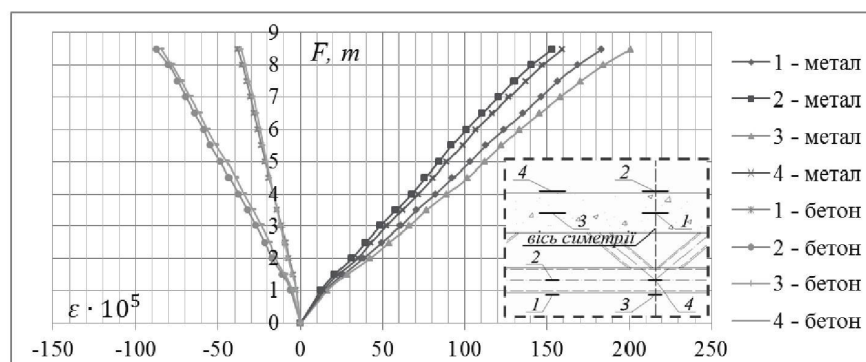


Рисунок 4 – Деформації в нормальному перерізі, заміряні електротензорезисторами, розташованими по висоті перерізу

При деформуванні балки (рис. 5 – 10) спостерігалася пружна робота арматури і бетону до досягнення 75% навантажень від руйнівного. При досягненні більших навантажень почали виникати значні тріщини в бетонному поясі, за рахунок чого відбувалося повне руйнування зразка. Виникнення тріщин спостерігалася в місці прикладання навантаження F_1 , де були найбільшими момент та поперечна сила. Напрямок зростання тріщини проходив від місця прикладання сили F_1 під кутом до реакції опори Q .

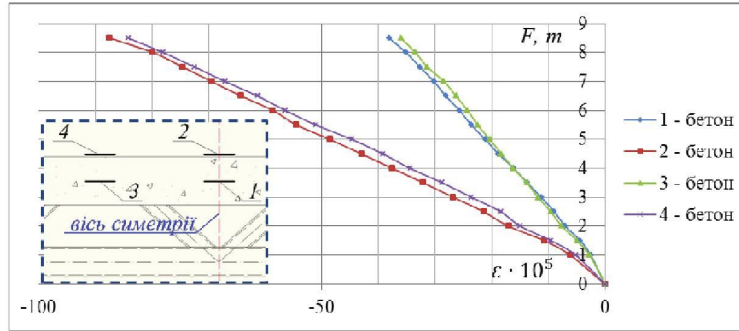


Рисунок 5 – Деформації балки заміряні електротензорезисторами (номери тензорезисторів 1-, 2-, 3-, 4- бетон)

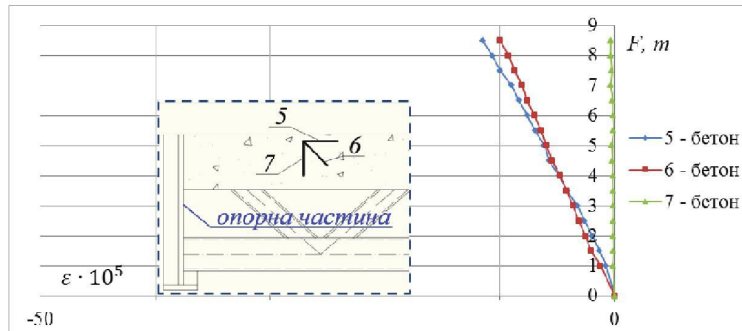


Рисунок 6 – Деформації балки заміряні електротензорезисторами (номери тензорезисторів 5-, 6-, 7- бетон)

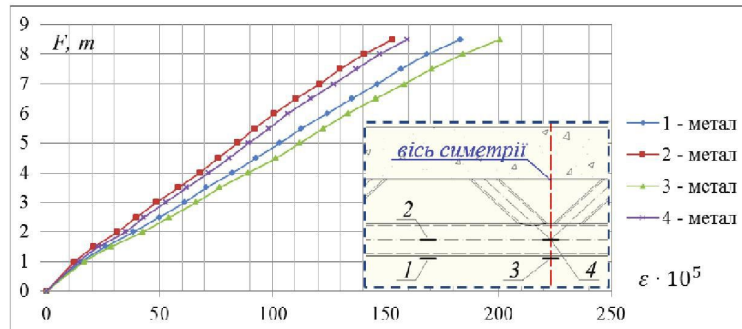


Рисунок 7 – Деформації балки заміряні електротензорезисторами (номери тензорезисторів 1-, 2-, 3-, 4- метал)

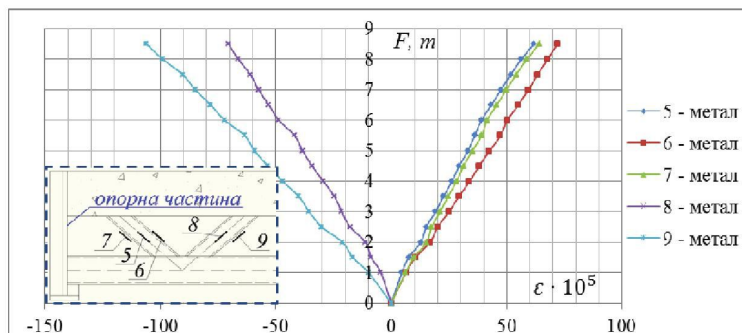


Рисунок 8 – Деформації балки заміряні електротензорезисторами (номери тензорезисторів 5-, 6-, 7-, 8-, 9- метал)

При навантаженнях, що відповідали руйнівним $M \leq M_u$, почали спостерігатися значні деформації балки, прогин досягнув граничного стану, після чого балка втратила свою несучу здатність. Крихке руйнування зразків не відмічалось, а навпаки, проходило

пластично, що характерно для сталевих конструкцій. У цілому, досліджувана балка на всіх ступенях завантаження працювала як єдина суцільна конструкція.

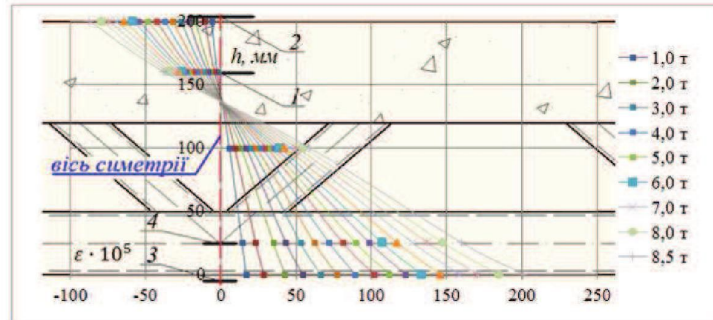


Рисунок 9 – Епюри розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразків (номери тензорезисторів 1-, 2- бетон; 3-, 4- метал)

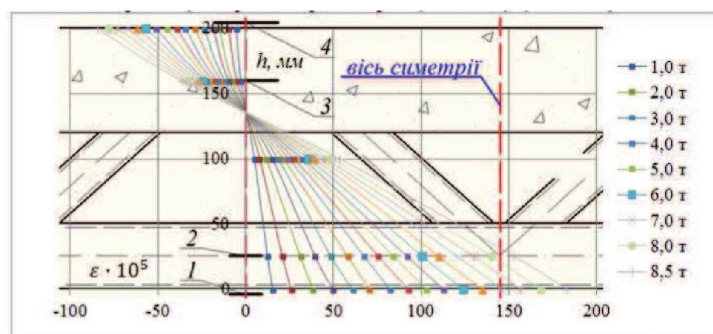


Рисунок 10 – Епюри розподілу деформацій по висоті нормального перерізу зразків (номери тензорезисторів 3-, 4- бетон; 1-, 2- метал)

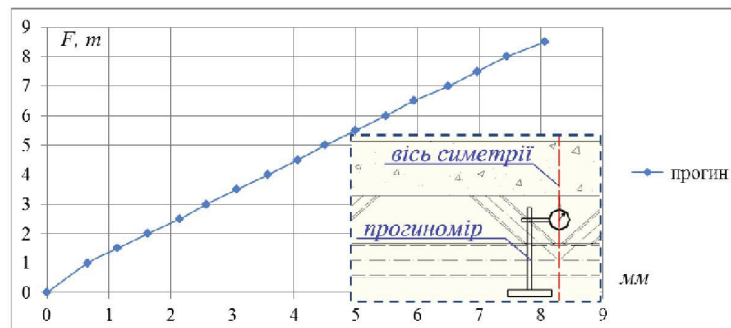


Рисунок 11 – Залежність прогину від навантаження по прогиноміру

Для порівняння отриманих результатів створили розрахункову схему в програмному комплексі SCAD. Вона визначається як система загального виду, основні невідомі представлені лінійними переміщеннями вузлів уздовж осей X, Y, Z і поворотами навколо цих осей.

Розрахункова схема залізобетонної балки з винесеним робочим армуванням (рис. 12) має вигляд тривимірної моделі й складається з таких скінченних елементів: 1) стрижні – зв'язують між собою нижній та верхній пояс запропонованої конструкції. Мають тип параметричного елемента перерізом $\varnothing 32$ мм з товщиною стінки 3 мм зі звичайної сталі; 2) об'ємні елементи – моделюють бетонну складову верхнього пояса з жорсткістю бетону класу C32/40; 3) пластини – моделюють сталеву трубу в нижньому поясі перерізом $\varnothing 50$ мм з товщиною стінки 3 мм звичайної сталі; 4) АТТ – моделюють анкери, які знаходяться у бетонній складовій, місця зварювання елементів металевого каркаса та місця передачі зусиль на конструкцію. Отримані дані дають середню збіжність 15% з результатами, одержаними під час проведення експерименту.

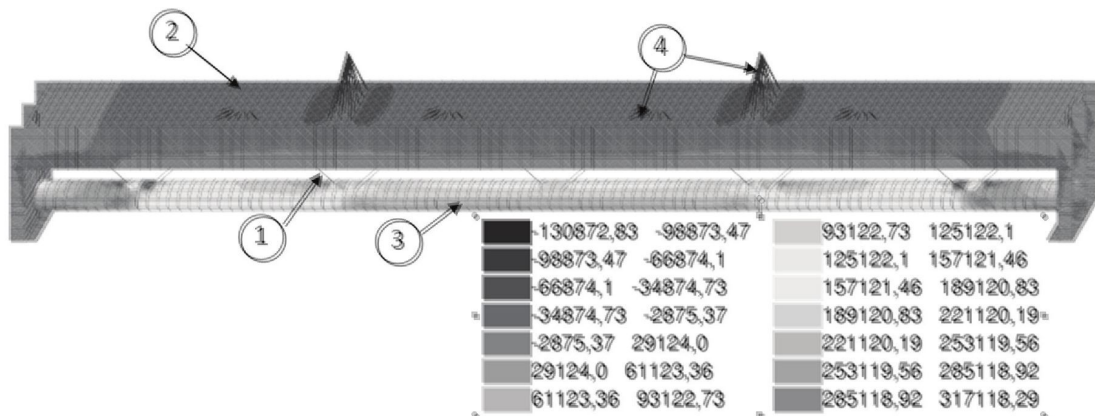


Рисунок 12 – Розподіл напружень N_x :

1 – стрижні; 2 – об’ємні елементи; 3 – пластини; 4 – абсолютно тверді тіла (АТТ)

Висновки. Залізобетонна балка з винесеним робочим армуванням на всіх ступенях працювала як єдина суцільна конструкція. Використана методика та вимірювальні прилади дозволяють отримати необхідні експериментальні дані по несучій здатності, деформаціях і характеру руйнування досліджуваних зразків. Застосовані для проведення експерименту вимірювальні прилади – електротензорезистори, прогиноміри – дозволяють отримати детальну інформацію про деформування досліджуваних зразків у будь-який момент навантаження та чітку картину розвитку деформацій як у перерізі, так і в зоні дії поперечного зусилля та згинального моменту. Характер розподілу поздовжніх деформацій по висоті поперечного перерізу майже на всіх стадіях напружено-деформованого стану близький до лінійного, що дає можливість використання при розрахунках гіпотези плоских перерізів.

Порівняння результатів, отриманих в експерименті, та чисельних розрахунків, реалізованих у програмному комплексі SCAD, показали велику збіжність результатів та довели практичну можливість розраховувати ці конструкції такими методами.

Результати експерименту свідчать про те, що ці конструкції надійні в роботі й експлуатації та можуть бути застосовані в промисловому й цивільному будівництві.

Література

1. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції: навчальний посібник // Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц. – Полтава, 2005. – 181 с.
2. Перспективи розвитку конструкцій із залізобетону // Стороженко Л.І., Муравльов В.В., Школяр С.П., Школяр Ф.С. // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: збірник наукових статей. Вип. 9. – Кривий Ріг, 2011. – С. 185 – 189.
3. Стороженко Л.И. Сталезалізобетонные конструкции // Л.И. Стороженко, А.В. Семко, В.И. Ефименко. – К.: Четверта хвиля, 1997. – 158 с.
4. Johnson R.P. Composite structures of steel and concrete // Johnson R.P. // University of Warwick, 1994. – 188 p.
5. Результати експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій з винесеним армуванням // Стороженко Л.І., Муравльов В.В., Мурза С.О., Школяр Ф.С. // Галузеве машинобудування, будівництво: збірник наукових праць. Вип. 4(33). – Полтава, 2013. – С. 260 – 265.

6. *Перспективи розвитку конструкцій із залізобетону [Текст] / Стороженко Л.І., Муравльов В.В., Школяр С.П., Школяр Ф.С. // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Зб. наук. пр. Вип. 9. – Кривий Ріг, 2011. – С. 185 – 189.*
7. *Стороженко Л.І. Структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції [Текст] : міжвід. наук.-техн. зб. / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 78. – Кн. 2. – С. 195 – 200.*
8. *Gasii G.M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete [Electronic resource] / G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №9. – P. 23 – 25.*