

УДК 624.016

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ЩО ПОСИЛЕНІ ЗОВНІШНІМ СТАЛЬНИМ АРМУВАННЯМ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ НАРУЖНЫМ СТАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

**THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMPOSITE AND REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED BY EXTERNAL STEEL REINFORCEMENT**

**Білокуров П.С., асп., (Національний авіаційний університет, м.Київ)**

**Белокуров П.С., асп., (Национальный авиационный университет, г. Киев)**

**P.S. Bilokurov, advanced student (National Aviation University, Kyiv)**

**В статті наведені результати експериментальних досліджень міцності сталезалізобетонних балок, що посилені зовнішнім стальним армуванням.**

**В статье приведены результаты экспериментальных исследований сталезалезобетонных балок, усиленных наружным стальным армированием.**

**The given article deals with experimental research of composite and reinforced concrete beams strengthened by external steel reinforcement.**

**Ключові слова:**

Сталезалізобетон, підсилення, міцність, стальне зовнішнє армування.

Сталезалезобетон, усиление, прочность, стальное наружное армирование.

Composite and reinforced concrete, strengthening, strength, external steel reinforcement.

**Постановка проблеми.** Реконструкція промислових будівель та споруд є складовою частиною загальної реконструкції підприємств. Зміна умов експлуатації та функціонального призначення будівельних конструкцій як результат впровадження нових технологій, в більшості випадків потребує проведення для них додаткових заходів.

Монтаж додаткового обладнання призводить до збільшення навантаження, зміни місця їх прикладання та характеру, внесення змін в

розрахункові схеми, що може викликати необхідність попереднього підсилення конструкцій будівельних споруд. В процесі реконструкції будівельні споруди повинні бути розраховані згідно вимог існуючих нормативних документів при змінених умовах експлуатації [1].

Після прийняття рішення про підсилення в кожному окремому випадку необхідно розробити таку конструкцію підсилення, яка б відповідала вимогам міцності, довговічності та естетичного сприйняття. Метод нарощування перерізу - один з найбільш популярних методів підсилення існуючих будівельних конструкцій.

Всі елементи підсилення, при збільшенні збільшені площі поперечного перерізу несучого елемента, підвищують його жорсткість, тим самим зменшується його гнучкість, що для елементів, які працюють на стиск або розтяг має велике значення. Тому, якщо навіть коли елемент, що підсилює конструкцію не може сприймати розрахункове навантаження, все одно зменшуючи гнучкість конструкції, він підвищує його несучу здатність [2].

Підсилення додатковим сталевими елементами (пластина або кутик) у вигляді горизонтальних з'єднань викликає ряд факторів, що безпосередньо впливають на їх несучу здатність та потребують більш поглибленого вивчення.

**Огляд останніх джерел і публікацій.** Питання з вивчення причин та способів підсилення будівельних конструкцій були проаналізовані в роботах багатьох вчених: Барашикова А.Я, Кривошеєва П.І, Бондаренко С.В, Голишева А.Б, Онуфрієва Н.М, Клименка Є.В, Лазовського Д.Н, Мальганова А.И. та інших. Більшість вчених у своїх роботах підкреслюють, що для вирішення питання прогнозованої оцінки напруженого стану згинальних елементів після підсилення, необхідно визначати напружений стан елементів до підсилення та забезпечення сумісної роботи двох складових елементів – елемента, що підсилюється та елемент підсилення.

Дослідженню будівельних конструкцій, що посилені зовнішнім сталевим армуванням, присвячені роботи таких закордонних вчених як: Christopher M. Foley, Evan R. Buckhouse, M.B. Leeming, G.C. Mays, R.J. Shutz, L.C. Hollaway, R.O. Adams, W.C. Wake, R. Jones, R.N. Swamny та C.F. Irwin [3-7] та ін.

**Постановка завдання.** Метою роботи є експериментальні дослідження напружено-деформованого стану та міцності сталезалізобетонних балок, які підсилені сталевими пластинами за допомогою клейового та зварного з'єднань. Проведені дослідження дозволили реально уявити та оцінити сумісну роботу сталезалізобетонної балки, що підсилюється, та сталевого елемента, яким здійснюється підсилення, залежно від виду з'єднання.

**Викладення основного матеріалу.** Для експериментальних випробувань були вибрані 6 сталезалізобетонних балок, які підсилювалися сталевим пластиною та кутиком.

Експериментальні зразки представлені у вигляді згинальних трубобетонних елементів прольотом 2,1 м з профільної труби, поперечним перерізом  $b \times h = 100 \times 200$  мм, що заповнені бетонною сумішшю.

Основними факторами, що впливають на роботу конструкції є типи з'єднань елементів підсилення та експериментальних зразків один з одним, а також площа та поперечний переріз елемента підсилення (пластина, кутик).

Згідно з програмою експериментальних досліджень вивчалася зміна напружено-деформованого стану дослідних зразків при дії згинального моменту в зоні чистого згину. Всі експериментальні зразки випробовувались при досягненні проектної міцності бетону, але не раніше ніж через 28 діб після бетонування.

Експериментальні балки були виконані з бетону В30 за міцністю.

До початку випробувань металеві поверхні зразків очищались від напливів бетону та бруду, знежирувались ацетоном та покривались лаком за 2 рази. Випробування виконувалось за схемою одно пролітної вільно обертої балки, що навантажена однією зосередженою силою.

Експериментальні випробування проводились на дію короткочасних навантажень на пресі УВМ-50 (рис. 1).

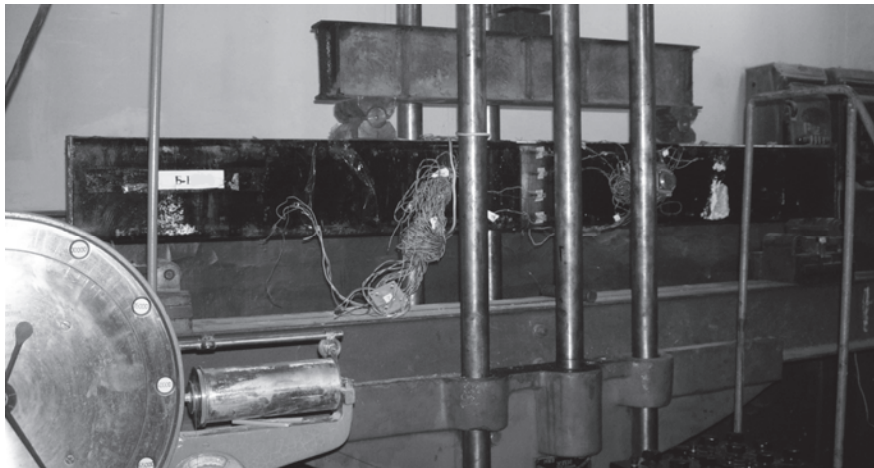


Рис 1. Випробування сталезалізобетонної балки на згин у пресі

При дії згинального моменту деформації вимірювались в зоні чистого згину в крайніх волокнах та по висоті перерізу за допомогою тензорезисторів.

Під час випробувань зразків навантаження на балку прикладалося ступенями, що дорівнювало 0.05...0.1 від руйнівного з 5...10 хвилинною витримкою. На протязі кожної витримки знімалися показники по

тензорезисторам та прогиноміра, проводився візуальний огляд зразків з фіксуванням наявних деформацій в розтягнутій зоні бетону та відшарування листової сталі від бетону (сталі) в нижній або бокових зонах перерізу.

В другий етап, після витримки, зразки повністю розвантажувались і фіксувався залишковий прогин, а потім знову, в такій же послідовності зразки завантажувалися до руйнівного навантаження.

Поздовжні деформації листової арматури та зовнішньої поверхні бетону вимірювались за допомогою тензорезисторів типу 2ПКБ 20-200В та 2ПКБ 50-200В однієї комплектності з вибірковою перевіркою на придатність за ГОСТ 21615-76. Для зняття показників з тензорезистрів при випробуванні конструкції використовувався вимірювач деформацій ВНП-8.

Прогини зразків вимірювались за допомогою прогиноміра „Аистова” типу ПАО-6.

Схема навантаження та розміщення вимірювальних приладів для дослідження нормального перерізу експериментальних зразків зображена на (рис. 2).

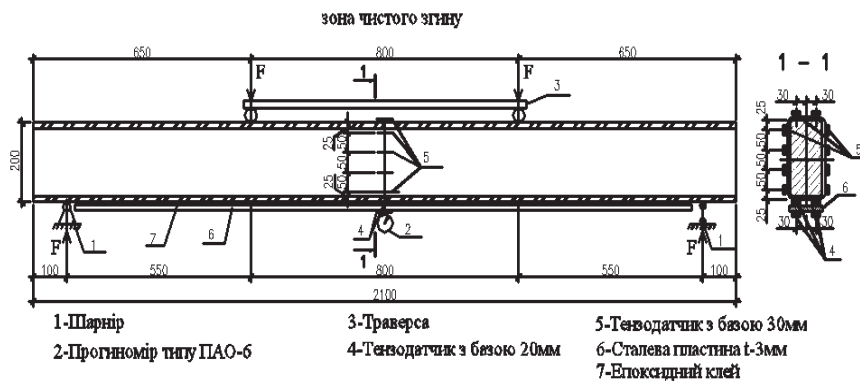


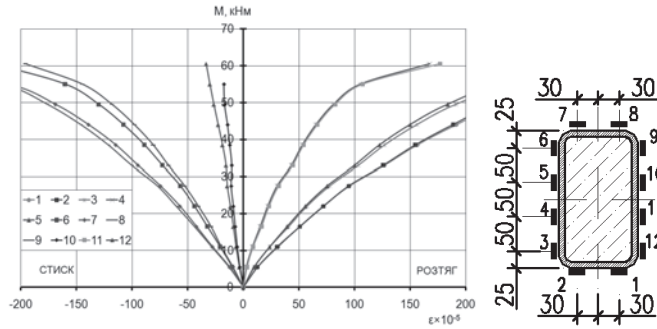
Рис. 2. Схема навантаження для випробування на дію згинаючого моменту та схема розміщення вимірювальних приладів

На всіх ступенях завантаження були взяті до уваги особливості характеру руйнування та інтенсивність зростання прогинів в дослідних зразках.

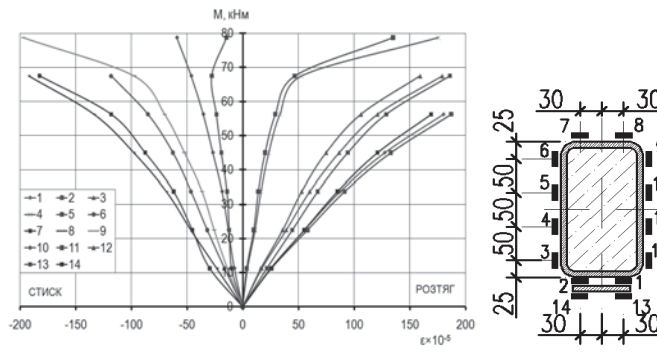
Під час дослідження напружено-деформованого стану згинальних елементів за нормальними перерізами, основне значення мають деформації у волокнах, що найбільш віддалені від нейтрального шару.

За результатами вимірювань деформацій у крайніх волокнах нормального перерізу досліджуваних сталезалізобетонних балок були побудовані графіки зміни деформацій відносно зміни значення навантаження зразків, які приведено на (рис. 3).

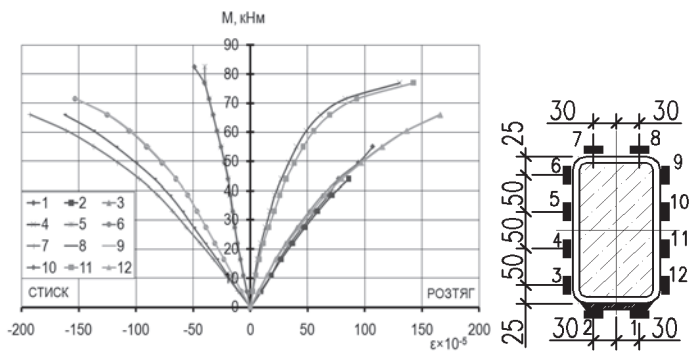
a)



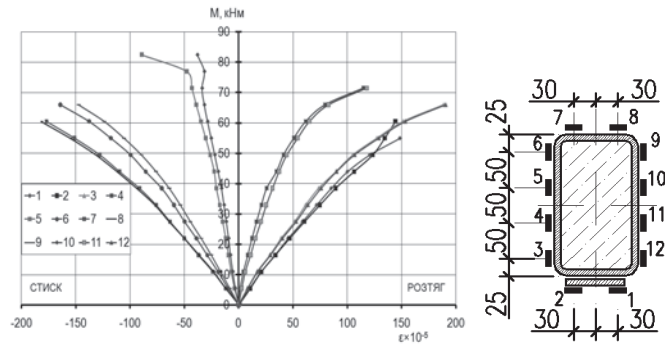
б)



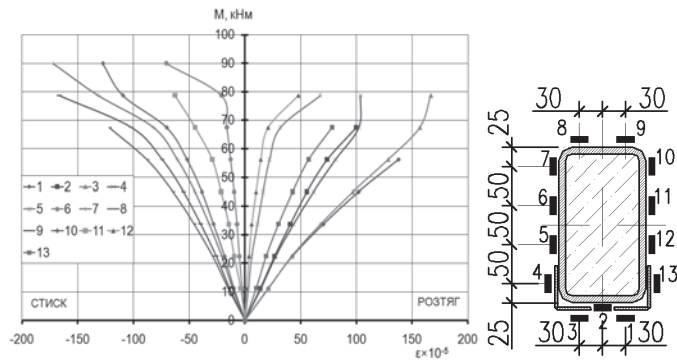
в)



г)



д)



е)

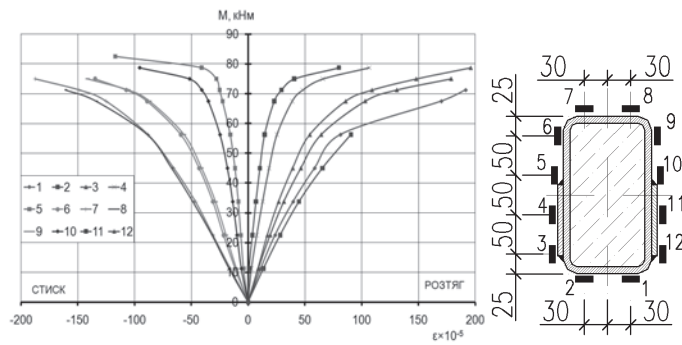


Рис. 3. Залежність поздовжніх деформацій від навантаження в крайніх волокнах досліджуваних зразків: а) балка Б-I; б) балка Б-II; в) балка Б-III; г) балка Б-IV; д) балка Б-V; е) балка Б-VI

Для проведення аналізу напружено-деформованого стану балок-зразків за

даними тензорезисторів, які показували відносні деформації на рівнях їх навантажень, були визначені середні значення напружень в розрахунковому їх перерізі будувалися графіки їх розподілу (рис. 4).

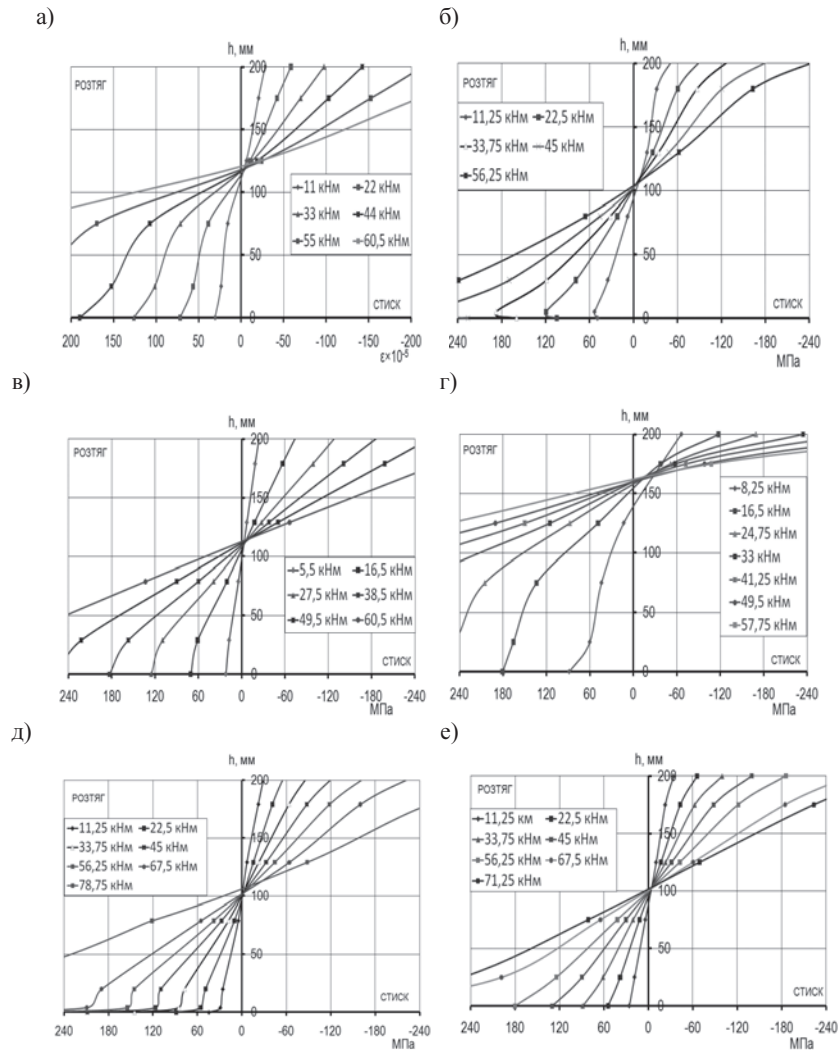
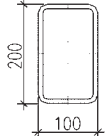
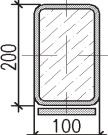
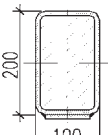
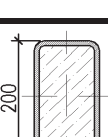
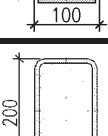
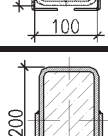


Рис. 4. Розподіл напружень в нормальному перерізі досліджуваних зразків:  
 а) балка Б-I; б) балка Б-II; в) балка Б-III; г) балка Б-IV; д) балка Б-V; е) балка Б-VI  
 Несуча здатність експериментальних зразків з відповідними характеристиками перерізу і типу з'єднання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Схема розміщення вимірювальних приладів та характеристики перерізу експериментальних зразків

№ п/п	Марка зразка	Поперечний переріз	Тип з'єднання	Елемент підсилення	Несуча здатність М, кНм
1	Б-I		Без підсилення	-	70,95
2	Б-II		Клей (Епоксидний)	Пластина товщ. 4 мм (L-1850мм, S-1660см <sup>2</sup> )	89,25
3	Б-III		Зварювання	Пластина товщ. 4 мм (L-1850мм, S-1660см <sup>2</sup> )	83,9
4	Б-IV		Клей (акриловий)	Пластина товщ. 4 мм (L-1850мм, S-1660см <sup>2</sup> )	82,5
5	Б-V		Зварювання	2-а кутика 40x40x3 (L-1850мм, S-2960см <sup>2</sup> )	90,0
6	Б-VI		Зварювання	2-і пластини товщ. 4 мм (L-2100мм, S-3780см <sup>2</sup> )	82,5

В результаті аналізу даних були побудовані графіки зміни прогинів експериментальних балок залежно від рівня навантаження, які приведені на (рис. 5).



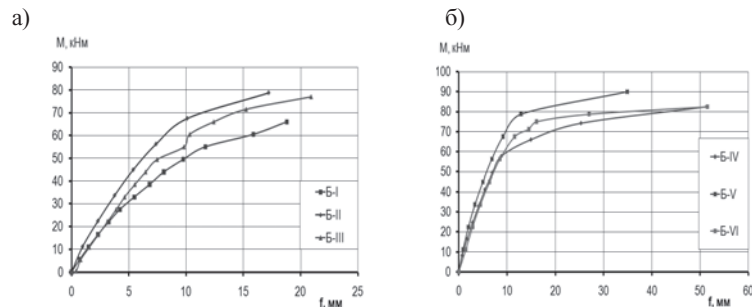


Рис. 5. Графік зміни прогинів експериментальних балок залежно від рівня навантаження: а) для балок Б-I,Б-II,Б-III; б) для балок Б-IV,Б-V,Б-VI

З результатів експериментальних випробувань, очевидно, що внаслідок підсилення сталевими елементами (пластини, кутик) несуча здатність нормальних перерізів експериментальних зразків істотно збільшилась для всіх типів балок.

**Висновки.** Аналіз результатів експериментальних даних свідчить про те, що запропонована методика експериментальних досліджень стале залізобетонних балок, які посилені сталевими елементами при різних рівнях завантаження, дозволяє враховувати специфіку напружено-деформованого стану балок та оптимізувати конструктивне вирішення перерізу елементів підсилення, тим самим знизити матеріалоемність конструкцій підсилення, а також, було встановлено, що ефективність підсилення згинальних сталезалізобетонних елементів в розтягнутій зоні сталевими елементами (пластина, кутик) залежить від типу з'єднання та типу елемента підсилення.

В результаті експериментальних досліджень було встановлено, що несуча здатність сталезалізобетонної балки після підсилення збільшилась на 20%, порівняно з непідсиленою балкою.

1. Лазовский Д. Н.. Проектирование реконструкции зданий и сооружений: учеб.-метод. комплекс/ Д.Н. Лазовский // Оценка состояния и усиление строительных конструкций.- Новополюк: ПГУ, 2008.- Вып. 3, Ч. 2.- с. 24. 2. Бадьин Г.М. Усиление строительных конструкций при реконструкции и капитальном ремонте зданий: Учебное пособие / Г.М. Бадьин, Н.В. Таничева.- М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010.- с. 67. 3. Adams R D and Wake W C (1984) Structural Adhesive Joints in Engineering, Elsevier Applied Science, London. 4. Jones R, Swamy R N and Salman F A R (1985) 'Structural implications of repairing by epoxy-bonded steel plates', Proc 2nd International Conference on Structural Faults and Repair, London, April/May 1985.- pp. 75–80. 5. Hollaway L C (1993a) Polymer Composites for Civil and Structural Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow, Scotland. 6. Mays G C and Hutchinson A R (1988) 'Engineering property requirements for structural adhesives', Proc ICE 85(2).- pp. 485–501. 7. Irwin C.F. The Strengthening of Concrete Beams by Bonded Steel Plates, Supplementary Report 160, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK. - pp.5-9.