

УДК 624.012.454

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК  
ПІДСИЛЕНИХ У СТИСНУТІЙ ЗОНІ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК,  
УСИЛЕННЫХ В СЖАТОЙ ЗОНЕ**

**RESEARCH STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS  
ENHANCED IN COMPRESSED ZONE**

**Задорожнікова І.В., к.т.н.** (Луцький національний технічний університет, м.Луцьк)

**Задорожнікова И.В., к.т.н., доцент** (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

**Zadorozhnikova I.V., candidate of technical sciences,** (Lutsk National Technical University, Lutsk)

**В статті наведені результати експериментальних досліджень міцності підсиленних у стиснутій зоні залізобетонних балок та представлені фізико-механічні характеристики матеріалів, використаних для підсилення.**

**В статье приведены результаты экспериментальных исследований прочности усиленных в сжатой зоне железобетонных балок и представлены физико-механические характеристики материалов, использованных для усиления.**

**Мета експериментальних досліджень** – встановити вплив товщини підсилюючого шару та виду матеріалу підсилення (полімербетон, сталевібробетон, дрібнозернистий) на міцність бетонних згинальних елементів шляхом їх експериментального випробування.

**Для отримання результатів** про міцність в перерізах конструкцій з неоднорідною структурою стиснутої зони залізобетонних балок були виконані експериментальні дослідження п'яти серій зразків-балок (по 4 зразки в кожній серії), конструктивні схеми яких показані на рис.1.

Дослідні балки (20 штук), розміри поперечного перерізу яких становили 120x200мм, а довжина 2000мм, виготовили в заводських умовах. Були заплановані два випадки реалізації початкового напружено-деформативного стану зразка перед підсиленням. У першому випадку підсилення вісьми балок виконували без попереднього навантаження (БС 1-1; БП 2-1; БПа 3-1; БТ 4-1), тобто імітували елементи, які ще не вичерпали свій ресурс, але у зв'язку зі збільшенням проектного навантаження вимагають підсилення.

Друга частина зразків (БСН 1-2; БПН 2-2; БПАН 3-2; БТН 4-2) моделювала балки, які знаходились в експлуатації, з тріщинами в розтягнутій зоні.

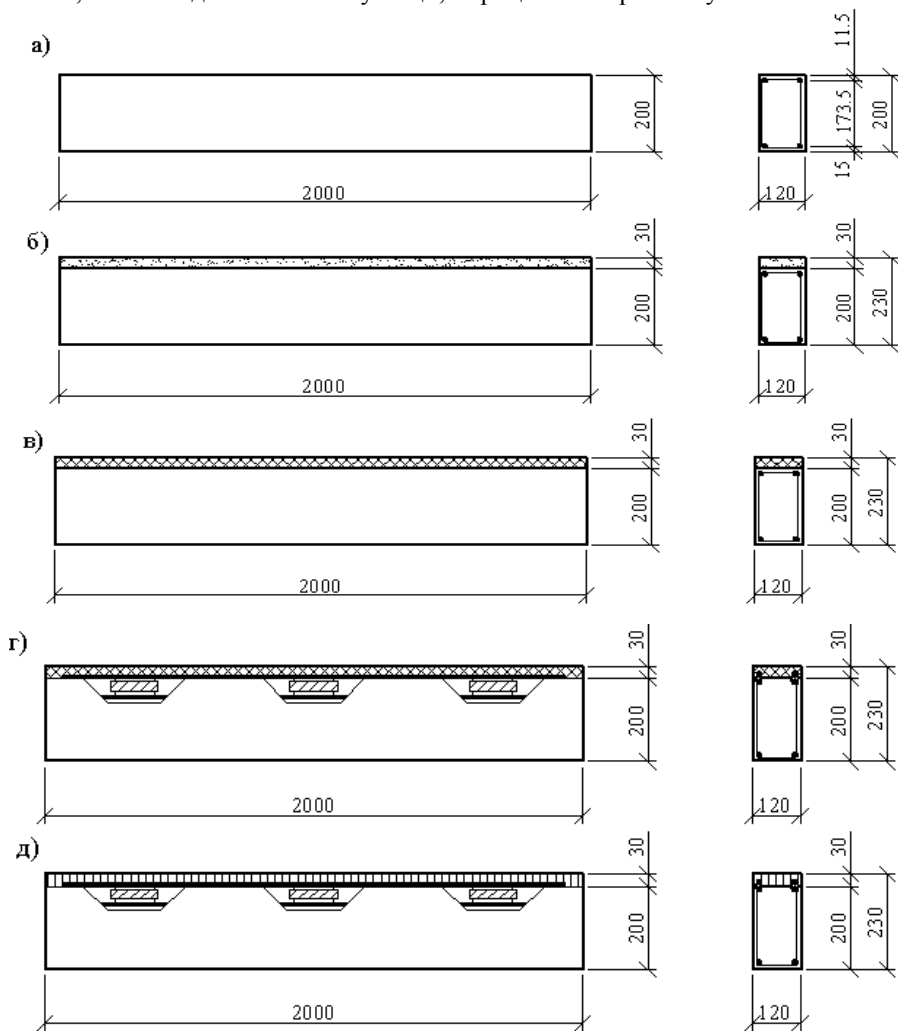


Рис.1. Принципова схема конструювання п'яти серій експериментальних балок: а) невідсилена (Б); б) відсилена сталевібробетоном (БС); в) відсилена полімербетоном (БП); г) відсилена полімербетоном і арматурою (БП<sub>А</sub>); д) відсилена арматурою та дрібнозернистим бетоном (БТ)

Для цього балки попередньо навантажували зусиллям, яке складало приблизно 0,7-0,8 від руйнівного. Це було виконано при випробуванні еталонної серії зразків до підсилення (Б 1-1; Б 1-2; Б 1-3; Б 1-4). Таким чином було досягнуто утворення тріщин шириною розкриття 0,2...0,3 мм. Після цього балки розвантажували.

Далі здійснювали підсилення балок, добетонуванням стиснутої зони підсилюючим шаром товщиною 30 мм, з використанням різних сучасних ефективних матеріалів підсилення підвищеної міцності та стійкості до складних умов експлуатації (сталефіробетон, полімербетон). Для порівняння було виконане підсилення традиційним способом - шаром звичайного армованого дрібнозернистого бетону.

**Сировинні матеріали.** Міцнісні та деформативні характеристики основного бетону експериментальних балок, а також полімербетону, сталефіробетону та дрібнозернистого бетону, які використовували для підсилення стиснутої зони залізобетонних балок, визначали за результатами випробувань контрольних зразків у вигляді кубів та призм з розмірами 100x100x100 мм та 100x100x400мм. Зразки для випробування виготовляли серіями по 12 штук в кожній (6 призм, 6 кубів) з одного замісу бетону відповідних балок, які тужавіли у ідентичних умовах, що і балки.

Виготовлення стандартних зразків виконували в інвентарних сталевих формах[1]. Перед випробуванням дослідні зразки ретельно перевіряли з метою виявлення можливих дефектів.

Випробування проводили на гідравлічному пресі ПГ-100. Згідно з чинними стандартами [2, 3, 4] за руйнуюче навантаження приймали максимальне зусилля, яке було досягнуте в процесі випробування. Випробовуючи призми, деформації бетону вимірювали за допомогою 4 індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, які були встановлені з двох боків зразка на базі 200 мм. Результати випробувань зразків основного бетону та бетону підсилення наведені у табл.1.

Оскільки випробування бетонних зразків на розтяг не виконували, для визначення міцнісних та деформативних характеристик бетонів на розтяг використовували залежності для обчислень зазначених параметрів непрямыми методами.

Щоб визначити міцнісні та деформативні властивості арматури дослідних зразків використали розривну машину МП-500. На ній випробували 7 зразків арматури класу  $\varnothing 10$  АІІ, 7 зразків -  $\varnothing 8$  АІІ та 10 зразків –  $\varnothing 3$  ВрІ та сталеві фібри, виготовленні з відпрацьованих канатів (табл. 2.).

Арматура  $\varnothing 10$  АІІ була використана як основна у підсилюваних конструкціях балок. Арматуру  $\varnothing 3$  Вр-І використовували для армування стиснутої зони при підсиленні шаром полімербетону та дрібнозернистого бетону.

Таблиця 1.

Міцнісні та деформативні властивості використаних бетонів

№	Середні значення характеристик	Основний бетон	Бетони підсилення		
			дрібнозернистий	сталевіробетон	полімербетон
1	Кубикова міцність $R_c$ , МПа	29,39	25,7	31,8	32,4
2	Призмova міцність $R_{b1}$ , МПа	23,4	19,3	24,4	25,1
3	Міцність на розтяг $R_{bt}$ , МПа	1,97	2,05	3,44	3,88
4	Початковий модуль пружності $E_b \times 10^{-3}$ , МПа	25,8	24,13	26,7	27
5	Граничні деформації при стиску $\varepsilon_{br} \times 10^5$ , які відповідають $R_b$	200	195	280	400
6	Граничні деформації при розтягу $\varepsilon_{btR} \times 10^5$ , які відповідають $R_{bt}$	15	18,8	32	57

Таблиця 2.

Фізико-механічні характеристики арматури

№ п/п	Середні значення характеристик	Вид арматури			
		Ø 10 А-III	Ø 8 А-III	Ø 3 Вр-I	Фібра Ø1 мм
1	Фізична ( $\sigma_y$ ) або умовна ( $\sigma_{0,2}$ ) межа текучості, МПа	442	410	390	-
2	Тимчасовий опір $\sigma_p$ , МПа	711	620	730	750
3	Модуль пружності $E_s \times 10^{-5}$ , МПа	2,1	2,02	1,73	2,0

**Результати досліджень.** Метою підсилення балок різними матеріалами є підвищення їх міцнісних характеристик та виявлення найефективнішого з них. Випробування експериментальних зразків-балок показало, що, незважаючи на різні матеріали підсилення, спостерігається підвищення як міцності, так і жорсткості. Під час проведення досліду балки з п'яти випробуваних серій зруйнувались за нормальними перерізами.

При руйнуванні майже в усіх серіях підсилених балок спостерігалось часткове відшарування контактного шару. Але відшарування відбувається у різних балках на різних стадіях напружено-деформативного стану. В балках, серій БП<sub>Δ</sub>, БП<sub>Δ</sub>Н, БП, БПН, підсилених полімербетоном з підведенням додаткової арматури в шар підсилення та неармованим полімербетоном, відшарування підсилюючого шару відбулося в момент руйнування, до якого полімербетон зберігав повний контакт з бетоном елементів, які підсилювалися. Розшарування у балках серій БС, БСН, БТ, БТН, підсилених відповідно сталевібробетоном та армованим дрібнозернистим бетоном, з'явилося у кінці другої стадії напружено-деформативного стану. Виникнення розшарування у балках вже на останніх етапах роботи дає можливість спільної роботи шарів стиснутої зони (основної конструкції із шаром підсилення) до моменту вичерпання несучої здатності.

Зважаючи на малий відсоток армування і у зв'язку з цим визначальним чинником величини міцності залізобетонного елемента була межа текучості арматури. Однак, досліди показали підвищення несучої здатності залежно від способу підсилення.

Експериментальні значення міцностей дослідних балок усіх серій наведені у табл. 3.

Таблиця 3.

Середні експериментальні значення міцностей дослідних зразків балок

№ п/п	Марка балки	Шифр способу підсилення	Руйнівне зусилля (поперечна сила) $P_{ut}$	Відносне значення міцності $P_{ut}/P_0$	Згинальний момент при руйнуванні $M$ , кНм
1	Б	0	25,5	1,0	15,3
2	БС	1-1	30,5	1,196	18,3
3	БСН	1-2	31,25	1,225	18,75
4	БП	2-1	31,0	1,215	18,6
5	БПН	2-2	32,0	1,254	19,2
6	БП <sub>Δ</sub>	3-1	31,75	1,245	19,05
7	БП <sub>Δ</sub> Н	3-2	32,15	1,261	19,29
8	БТ	4-1	29,0	1,137	17,4
9	БТН	4-2	30,0	1,176	18

Таким чином, з отриманих даних можна зробити висновок, що найбільший приріст несучої здатності, у межах 24 - 26%, виявилося у балках підсилених шаром армованого полімербетону (БП<sub>А</sub>, БП<sub>АН</sub>). Тут міцнісні властивості підсилюючого шару використані найбільше, очевидно, внаслідок кращого зчеплення бетону балки з шаром підсилення. У цьому випадку арматура підсилення та оцупки скріплення становили додаткові конструктивні умови підвищення зчеплення підсилюючого шару з бетоном підсилюваної балки. На другому місці – балки серій БП та БПН, підсилені шаром неармованого полімербетону, величина збільшення міцності яких становить 21-25%. Третя позиція з точки зору збільшення міцності – 19-22%, це балки підсилені сталефібробетоном (БС, БСН). Найменше збільшення несучої здатності - 13-17%, виявили експериментальні зразки, підсилені армованим дрібнозернистим бетоном (БТ, БТН).

При цьому, вплив армування стиснутої зони на міцність зразків практично не виявлено (див. серії БП<sub>А</sub>, БП<sub>АН</sub> та БП, БПН). Простежується лише вплив міцності бетону стиснутої зони. Такого ефекту можна було б очікувати, зважаючи на спосіб руйнування зразків по розтягнутій зоні внаслідок текучості розтягнутої арматури.

Аналізуючи табл. 3 можна дійти висновку, що з точки зору міцності введення стиснутої арматури при підсиленні стиснутої зони нормально армованих елементів малоефективне, особливо при підсиленні шаром полімербетону. З табл. 3 видно, що несуча здатність підсилених у стиснутій зоні балок, яка не може збільшуватися тільки за рахунок збільшення загальної висоти зразка, визначається у залежності від ступеню використання міцності шарів у момент вичерпання несучої здатності.

Одним з ефектів методу підсилення залізобетонного елемента є утворення стиснутого шару більшої міцності, зниження стискуваності та підвищення розтягуваності за результатом просочення (пенетрації) шару підсилення у поверхні шару стиснутого бетону підсилюваної конструкції. Завдяки високій жорсткості зони контакту та сумісним деформаціям шарів стиснутої зони, напруження і деформації у крайніх стиснутих гранях бетону підсилених балок рівномірно розподіляються за довжиною контакту із шаром підсилення.

Треба звернути увагу на деяке підвищення міцності залізобетонних балок, підсилених після попереднього навантаження зусиллями експлуатаційного рівня. Скоріш за все це можна пояснити наявністю залишкових напружень, які з'являються після розвантаження. Наявність певного рівня напружень у стиснутому бетоні перед підсиленням балок серій БСН, БПН, БТН призводить до більшого наповнення епюри напружень та збільшення висоти стиснутої зони.