

З.Я. Бліхарський, Я.В. Римар, Д.І. Дубіжанський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12
E-mail: yzb@ukr.net

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Бліхарський З.Я., Римар Я.В., Дубіжанський Д.І., 2007

Наведено результати експериментальних досліджень міцності та характеру руйнування залізобетонних балок, підсилених при дії навантаження різного рівня шляхом нарощування робочої арматури різними способами.

The results of experimental researches of the strength and character of failure of the reinforced concrete beams increased during action of different level of loading by the increase of the armature of different ways are resulted.

Вступ. При експлуатації залізобетонні конструкції отримують дефекти та пошкодження, які погіршують їхній технічний стан, зменшують несучу здатність та експлуатаційну придатність. Їх подальша надійна експлуатація вимагає виконання заходів з реконструкції.

При реконструкції часто виникає необхідність підсилити залізобетонні балкові елементи. Особливістю цих робіт є те, що підсилення в більшості випадків виконується при дії зовнішнього навантаження, як мінімум від власної ваги конструкцій. Це спричиняє особливості розрахунку таких конструкцій, а також їхньої подальшої експлуатації.

Підсиленням залізобетонних конструкцій займалося багато вчених як в нашій країні, так і за кордоном [1–6]. Аналіз виконаних досліджень показує, що більшість з них стосується підсилення без врахування дії навантаження та викликаного ним початкового напружено-деформованого стану. Крім цього, відносно невелика кількість робіт стосується дослідження впливу способів підсилення на подальші експлуатаційні якості залізобетонних конструкцій.

Мета цієї роботи – виконати експериментальні випробування залізобетонних балок, підсилених декількома способами нарощування робочої арматури при дії навантаження різної інтенсивності з визначенням експериментальним та теоретичним шляхом їх несучої здатності та характеру руйнування.

Результати експериментальних досліджень. Для виконання експериментальних досліджень було виготовлено дві серії залізобетонних балок і бетонних призм та розроблено методику їх експериментальних випробувань.

Експериментальні зразки балок мали довжину 2100 мм, ширину 100 мм і висоту 200 мм. У всіх балках повздовжньою робочою арматурою була стрижнева арматура 2Ø14 А-III, а конструктивна і поперечна – 2Ø5 Вр-I, крок поперечної арматури – 75...100 мм. З'єднання арматури у просторовому каркасі виконано в заводських умовах контактним зварюванням. Всі балки бетонували серіями в заводських умовах з відповідними контрольними кубами та призмами.

Склад бетону серії Ц:П:Щ=1:1,13:2,59 при водоцементному відношенні В/Ц=0,42. Цемент марки М500 Миколаївського цементного заводу. Пісок використано кварцовий Ясенецького кар'єру Львівської області без домішок з модулем крупності $M_c=1,36$, щебінь гранітний фракції 10...20 мм. Середня призмova міцність становила 45,1 МПа.

Для збільшення перетину арматури використовувалась арматура підсилення 2 Ø10 А-III, що з'єднувалась з робочою арматурою за допомогою ручного дугового зварювання ділянками довжиною 100 мм. У першій серії залізобетонних балок арматуру підсилення приварювали через арматурні коротиші Ø20 мм, у другій серії – безпосередньо до робочої арматури.

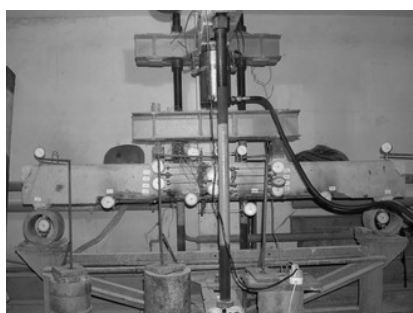
Для вивчення впливу рівня навантаження на напружено-деформований стан конструкції при дії навантаження та підсиленні балок шляхом збільшення перетину арматури в межах серії були проведені випробовування балок при дії різного рівня навантаження – 0,3; 0,5 та 0,75 від руйнуючого за текучістю арматури балки. Характеристики балок після підсилення подано у табл. 1.

Таблиця 1

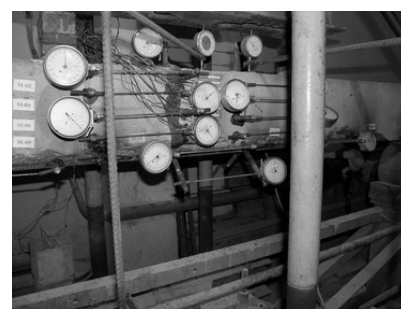
Характеристики експериментальних балок після підсилення

Шифр балок	Переріз балок b×h, мм×мм	Арматура								
		Площа перерізу в розтяг. зоні, см ² (Ø мм)		Межа текучості, σ _y , МПа		Межа міцності, σ _u , МПа		Модуль пружності, E _s ×10 ⁻⁵ МПа		Сумарне армування, %
		Основ.	Загальна	Ос-нов.	Додаткова	Ос-нов.	Додатк.	Ос-нов.	Додаткова	
		Додат.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
БЗ-3.1	99,8×204	3.08 (2Ø14)	4.65	460	659	602	761	2.06	1.9	2,63
БЗ-5.1	102×202									
БПа 3.4-0,3	99×203	1.57 (2Ø10)	4.65	460	659	602	761	2.06	1.9	2,67
БПа 5.4-0	96×204									
БПа 3.3-0,5	99×203,5	1.57 (2Ø10)	4.65	460	659	602	761	2.06	1.9	2,66
БПа 5.3-0,5	98×202									
БПа 3.2-0,75	99×205	1.57 (2Ø10)	4.65	460	659	602	761	2.06	1.9	2,64
БПа 5.2-0,75	99×2,0									

Завантаження балок відбувалося двома зосередженими силами, прикладеними по верхній грані в третинах прольоту. Навантаження прикладали ступенями $\Delta F = 0.05F_{max}$ до утворення тріщин і далі $\Delta F = 0.1F_{max}$. Прогини балок вимірювалися за допомогою чотирьох індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Деформації бетону вимірювали за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу зі шкалою 0,001 мм та тензодатчиків. Отримані дані використовували для визначення деформацій бетону в балках. Деформації арматури замірювали також за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу зі шкалою 0,001 мм. Вони фіксувалися на спеціальних тримачах, які, своєю чергою, закріплювалися до арматурних стрижнів каркасу з базою 200 мм. Розміщення вимірювальних приладів на експериментальних балках-зразках і схема прикладання навантаження в процесі випробувань подані на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Схема розташування приладів при випробуванні підсиленої балки: а – загальний вигляд балки; б – розташування приладів

Під час випробовувань контролювали момент тріщиноутворення та його розвиток. Момент тріщиноутворення визначали візуально за допомогою мікроскопа МПБ-2М та за показами приладів.

У результаті виконаних експериментальних досліджень було визначено напружено-деформований стан балок в зоні дії максимального згинального моменту. Балки було запроектовано так,

щоб їхнє руйнування проходило за нормальним перерізом від дії згинального моменту. Руйнування непідсилених балок і балок, підслених нарощуванням перерізу арматури з безпосереднім приварюванням та через коротиші під навантаженням проходило внаслідок досягнення напружень в розтягнутій арматурі межі текучості. Значення згинального моменту при проведенні експерименту дорівнювало граничному M_u^{exp} , оскільки воно відповідало граничному стану балки – втраті несучої здатності нормальних перерізів внаслідок текучості арматури. Після цього із збільшенням навантаження відбувалося руйнування стисненої зони бетону. Характер руйнування балок показано на рис. 2, а. В окремих балках з приварюванням арматури підсилення через коротиші після досягнення текучості арматури пройшло руйнування від втрати зчеплення арматури на приопорних ділянках (рис. 2, б). Детальний аналіз ділянок руйнування балок показав, що в місці приварювання арматури підсилення через коротиші відбувається поворот ділянки з коротишем. Причиною цього є наявність місцевого згинального моменту в місці приварювання. Згинальний момент утворився за рахунок ексцентриситету між основною робочою арматурою та арматурою підсилення. При цьому в балках із безпосереднім приварюванням арматури підсилення теж діє місцевий згинальний момент. Однак його величина менша, оскільки ексцентриситет між арматурними стрижнями менший. Відповідно в балках з меншим ексцентриситетом не відбувається руйнування внаслідок втрати зчеплення робочої арматури, а лише утворюються поздовжні тріщини.

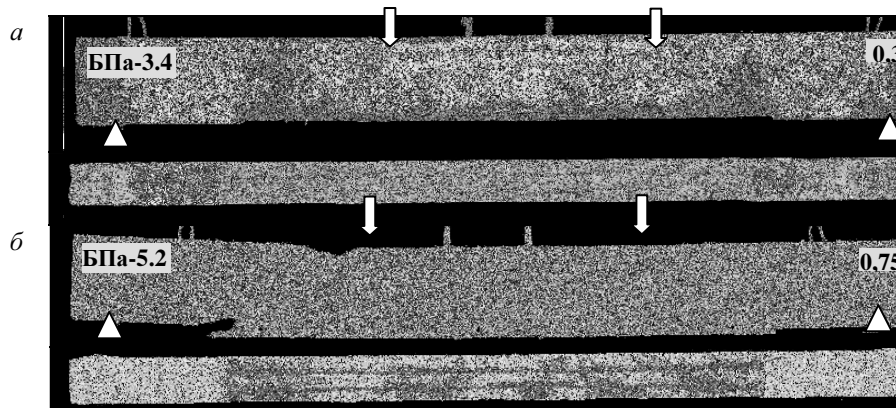


Рис. 2. Характер руйнування експериментальних балок
а – серії 3 – приварювання без коротишів;
б – серії 5 – приварювання через коротиші

Величина згинального моменту, при якому у непідсилений балці наставала текучість арматури, становила $M_{u1}^{exp} = 25.504$ кНм. При визначенні розрахункових значень згинальних моментів підслених балок використовувалась методика СНиП 2.03.01-84* з врахуванням особливостей розрахунку балки, що містить робочу арматуру різних класів міцності [1]. Результати наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Міцність підслених експериментальних балок

Шифр балок	Переріз балок b×h мм×мм	Площа перерізу арматури, см ² (Ø мм)	Сумарне армування, %	Величина згинальних моментів, кН·м			$\frac{M_{u2}^{norm}}{M_{u2}^{exp}}$
				Перед підсиленням	Після підсилення		
					Експериментальний (текучість арматури) M_{u2}^{exp}	Розрахунковий за СНиП 2.03.01-84*, M_{u2}^{norm}	
1	2	3	4	5	6	7	8
БПа 3.1-0,75	99×205	4,65 (2Ø14+ +2Ø10) (μ=2,3%)	2,64	2118	35,36	37,85	1.070
БПа 3.2-0,5	99×203,5		2,66	1207	34,83	37,48	1.076
БПа 3.3-0,3	99×203		2,67	760	36,20	37,36	1.032
БПа 5.4-0,3	96×204		2,32	760	34,13	37,93	1.111
БПа 5.3-0,5	98×202		2,29	1207	35,95	38,60	1.074
БПа 5.2-0,75	99×200		2,29	2118	36,68	37,15	1.013

При підрахунку ξ робоча висота перетину $h_{0,red}$ дорівнювала сумі відстаней від стисненої грані перетину до центра ваги існуючої розтягнутої арматури h_0 і відстані від центра ваги існуючої арматури до центра ваги арматури підсилення a_{red} . Враховуючи різні класи арматури існуючої конструкції і арматури підсилення, a_{red} визначалася з врахуванням приведенної площі перетину:

$$A_{s,red} = A_s + \frac{R_{s,ad}}{R_s} A_{s,ad}, \quad (1)$$

де A_s , $A_{s,ad}$ – відповідно площа розтягнутої робочої арматури і арматури підсилення; R_s , $R_{s,ad}$ – розрахункові опори розтягу існуючої арматури і арматури підсилення.

При цьому:

$$a_{red} = \frac{R_{s,ad} A_{s,ad} (h_{0,ad} - h_0)}{R_s A_a + R_{s,ad} A_{s,ad}}, \quad (2)$$

де $h_{0,ad}$ – відстань від стисненої грані підсиленого елемента до центра ваги всієї розтягнутої арматури.

$$h_{0,red} = h_0 + a_{red}. \quad (3)$$

Відносна висота стисненої зони:

$$\xi = \frac{R_s A_{a,red} - R_{sc} A'_s}{R_b b h_{0,red}}. \quad (4)$$

При обчисленні розрахункової несучої здатності в формули підставляли дійсні величини призмової міцності бетону R_b , а як розрахунковий опір арматури прийнято фактичні значення σ_y – межі текучості арматури. Експериментальну величину граничного моменту визначали за графіками залежності прогинів балок від навантаження та деформаціями робочої арматури.

Експериментальні величини згинальних моментів, які відповідають граничному стану M_{u2}^{exp} та розрахункову величину моменту M_{u2}^{norm} для підсилених балок визначали за формулою згідно з СНиП 2.03.01-84*:

$$M_u^{norm} = R_b b x (h_{0,red} - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_{0,red} - a'), \quad (5)$$

де $x = \xi h_{0,red}$.

Відношення міцності підсилених і непідсиленої балок $M_{u2}^{exp} / M_{u1}^{exp}$ становило 1.42; 1.37; 1.39 для рівнів підсилення 0,3; 0,5; 0,75 M_u^{exp} відповідно.

Висновки. Внаслідок виконаних експериментально-теоретичних досліджень встановлено, що міцність експериментальних балок, підсилених збільшенням перерізу арматури, більша за значення міцності непідсилених балок. При цьому в окремих балках з приварюванням арматури підсилення через коротіші після текучості арматури виникло руйнування внаслідок втрати зчеплення робочої арматури на приопорних ділянках балок. Отже підсилення нарощуванням арматури безпосереднім приварюванням стрижнів до робочої арматури при якісному його виконанні є більш надійним. При цьому теоретичні величини міцності підсилених під навантаженням залізобетонних балок, визначені за чинними нормами, перевищують експериментальні значення до 11.1 %, що завищує теоретичну несучу здатність таких конструкцій. Це вимагає уточнення методики розрахунку залізобетонних балок, підсилених під навантаженням.

1. Реконструкція зданий и сооружений // А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров / Под ред. А.Л. Шагина. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с. 2. Белостоцкий О.Б., Дамаскин Б.С., Третьяк Т.П. Реконструкция промышленных предприятий. – К.: Будивельник, 1986. – 141 с. 3. Бондаренко С.В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с. 4. Барашиков А.Я., Мальшев А.Н. Оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений. – К.: Віпол, 1998. – 232 с. 5. Гольшев А.Б., Ткаченко И.И. Проектирование усиленных несущих железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений. – К.: ЛОГОС, 2001. – 172 с. 6. Van Gemert D., Vanden Bosch M. and Ladang C. Design method for strengthening reinforced concrete beams and plates, 2nd edition. – K.U.Leuven, Belgium, 1990