УДК 624.011.2

Б. М. Ковальчук, Я. В. Римар*, З. Я. Біліхарський, П. Ф. Холод
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельних конструкцій та мостів,
*кафедра архітектурних конструкцій

МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЮ АРМАТУРОЮ

У цій статті описано підсилення нормальних перерізів залізобетонних балок попередньо напруженою арматурою під навантаженням. Були випробувані зразки залізобетонних балок завдовжки 2100 мм, завширшки – 100 мм і заввишки 200 мм. Робочою арматурою балки була арматура А500С Ø12 мм. Стиснута і поперечна арматура була класу А240С Ø8 мм. Балки випробовувались на чистий згин. Балки підсилювались за допомогою двох ненапружених або попередньо напружених стержнів арматури А500С Ø12 мм. Випробувано три серії балок: контрольні балки серії ВО, балки підсиленні ненапруженою арматурою та балки підсиленні попередньо напруженою арматурою. Усі балки підсилені при рівні діючого навантаження 0,5 Mu.

Ключові слова: залізобетонні балки, міцність, нормальний переріз, арматура.

B. Kovalchuk, Ya. Rymar*, Z. Blikharskyy, P. Kholod
Lviv Polytechnic National University,
Department of building construction and bridges,
*Department of architectural constructions

STRENGTH OF THE REINFORCED CONCRETE BEAMS, STRENGTHENED BY THE PRESTRESSED REINFORCING BARS

This article describes strengthening normal cross-section of reinforced concrete beams with prestressed reinforcement under load. The samples of RC beam with 2100 mm. length, 100 mm width, and 200 mm height was tested. As beam's tension reinforcement A500C Ø12 mm rebar was chosen. A240C Ø8 mm rebar was chosen as compressed reinforcement. Transverse reinforcement – A240C Ø8 mm rebar located in the supporting area with step 50–100 mm. Class of the concrete was C32/40. The beams were tested for a pure flexure. The load was added using the hydraulic cell in the thirds of the span. The beams were strengthened using two non- prestressed or prestressed reinforcing bars A500C Ø12 mm. Reinforcing bars were connected with the main beam reinforcement by means of welding using reinforcing bars Ø28 mm. The beams of three series were tested: two beams of the BO series and two beams strengthened with the non-prestressed reinforcing bars at 0,5Mu and two beams strengthened with the prestressed reinforcing bars at 0,5Mcr. All tested beams were destroyed in the central zone. The beams of BO series were destroyed after to the onset of the flow of the beam's longitudinal reinforcement and with further chipping of the compressive zone of the concrete. The beams of BR and BRR series were destroyed after the flow of the additional prestressed reinforcing bars, further flow of the main reinforcing bars and the destruction of the compressive zone of the concrete. After the tests there is an increase in strength of the reinforced of the beams for 89 % and 93 %.

Key words: reinforced concrete beams, strengthening, normal cross section, reinforcement.

Вступ. Сьогодні найпоширенішим матеріалом для об'єктів промислового та цивільного будівництва є залізобетон. Через тривалу експлуатацію залізобетонних конструкцій споруд та будинків настає граничний стан, коли вони перестають відповідати вимогам норм, що, своєю чергою, несе за собою потребу в підсилення окремих елементів.

Ефективність підсилення будівельних конструкцій полягає в усуненні наявних дефектів, збільшення несучої здатності цієї конструкції. Сьогодні проблема ефективного підсилення залізобетонних конструкцій, що перебувають під певним залишковим навантаженням, недостатньо вивчена і тому залишається актуальною дотепер і вимагає детального дослідження.

У наших умовах такий ефект може досягатися підсиленням за допомогою нарощування перерізу додатковою попередньо напруженою арматурою, що було б надзвичайно ефективно з погляду значного збільшення не тільки міцності нормальних перетинів конструкції підсилення, а й її жорсткості (обмеження прогинів та ширини розкриття тріщин), за рахунок попереднього напруження додаткової арматури.

Дослідження із підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою попереднього напруження матеріалів підсилення (зокрема і арматури) проведено у багатьох країнах світу [1–3], але показали значний розкид у показниках міцності, деформативності та тріщиностійкості. Це ще раз підтвердило той факт, що на сьогодні не досліджено реальної ефективності попереднього напруження додаткової арматури підсилення.

Огляд наукових джерел і публікацій. Аналіз наукових джерел показав, що цей тип підсилення недостатньо досліджений у наукових колах, але багато науковців працювали над дослідженням суміжних тем. Дослідженню згинальних елементів при підсиленні в розтягнутій зоні додатковою арматурою присвячені роботи Клименка Є. В., Лозового Ю. І., Бондаренка С. В., Голишева А. Б., Літвінова А.Г та ін.

В Національному університеті "Львівська політехніка" раніше досліджували залізобетонні балки підсиленні нарощуванням перетину арматури під навантаженям у розтягнутій зоні [4]. Під час досліджень визначено ефект підсилення при збільшенні перерізу арматури у залізобетонній балковій конструкції. Ефект підсилення то вищий, що менші напруження в робочій арматурі у момент підсилення. За експериментальними результатами досліджень встановлено, що можна отримати один і той самий ефект підсилення при збільшенні перерізу армування такими способами: використавши додатково ∅8 А400С при повному розвантаженні конструкції, або ∅10 А400С при рівні напружень у робочій арматурі $0{,}3f_{yd}$, або ∅12 А400С при $0{,}5\ f_{yd}$, або ∅14 А400С при $0{,}65\ f_{yd}$, або ∅16 А400С при $0{,}75\ f_{yd}$.

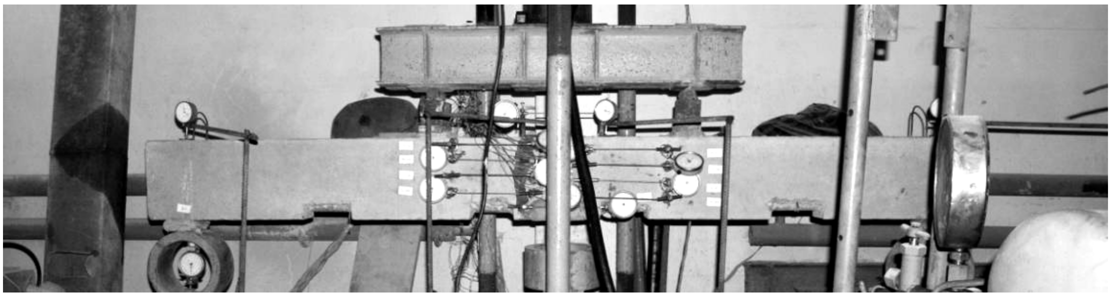


Рис. 1. Підсилення залізобетонної балки нарощуванням арматури

У роботі Б. А. Боярчука [5] було передбачено два випадки підсилення: без попереднього навантаження; та підсиленн під навантаженням із зусиллям 0,6–0,7 від руйнівного. Порівняно із непідсиленими зразками усі способи підсилення збільшують несучу здатність на 30–60 %, а тріщиноутворення приблизно на 30 %.

Мета і завдання дослідження отримати дані про роботу залізобетонних балок підсилених під навантаженням у розтягнутій зоні попередньо напруженою арматурою.

Методика досліджень. Для виконання поставленої мети роботи була виготовлена серія залізобетонних балок прямокутного профілю завдовжки 2100 мм, завширшки 100 мм і заввишки

200 мм. Бетон балки прийнятий класу С32/40. У всіх балках повздовжньою робочою арматурою була стрижнева арматура 2∅12 А500С, з межею міцності на границі текучості f_{yd} = 540 МПа; конструктивна і поперечна – ∅8 мм, класу А240С, крок поперечної арматури – 75...100 мм. З'єднання арматури у просторовому каркасі виконано в заводських умовах контактним зварюванням. Загальний вигляд балок (опалубне креслення) та конструкція арматурного каркасу подано на рис. 2.

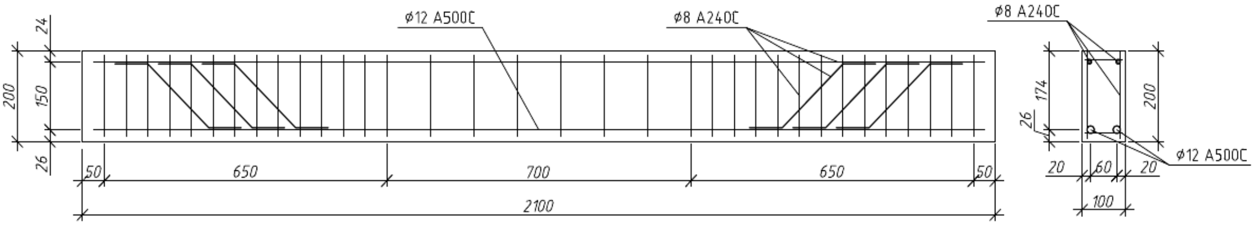


Рис. 2. Армування та розміри дослідних балок

Було проведено випробування трьох серій балок: перша – дві балки серії ВО, друга – дві балки підсиленні ненанапруженою арматурою при рівні 0,5Mu, третя – балки підсилені попередньо напруженою арматурою при рівні 0,5Mu. Під час експерементів балки маркували наступним чином: ВО – балка звичайна, BR – балка підсилена ненапруженою арматурою, BRR – балка підсилена попередньо напруженою арматурою, в ній перша цифра – номер серії, друга – рівень попереднього напруження, при якому здійснюється підсилення, третя – номер зразка серії. Так маркування BRR – 2.1–0.5 означає, що це балка третьої серії підсилена при рівні 0,5Mu і це перший зразок цієї серії.

Балки випробовувались на чистий згин. Навантаження прикладалось за допомогою гідравлічного домкрата в третинах прольоту. Балки підсилювались за допомогою двох попередньо напружених стержнів арматури А500С Ø12 мм. Їх з'єднання із основною арматурою балки здійснювалось за допомогою зварювання через стержні арматури Ø28 мм. Під час випробування за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу контролювались деформації бетону та арматури. Схему розміщення приладів показано на рис. 3.

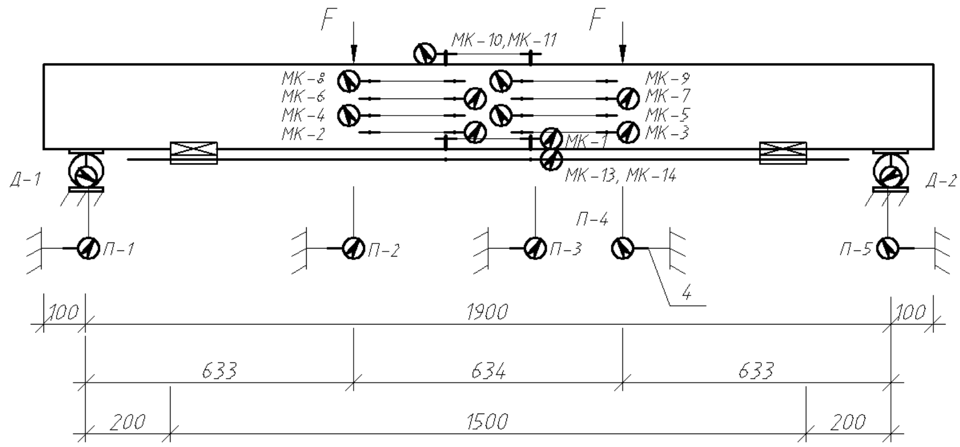


Рис. 3. Схема розміщення приладів під час випробування підсилених залізобетонних балок

Додаткова арматура підсилення встановлюється на розрахункову довжину відповідно до епюри внутрішніх зусиль. Її натяг виконувався електротермічним способом. Електротермічне попереднє напруження додаткових арматурних стержнів необхідно виконувати за допомогою трансформатора та мікроіндикаторів годинникового типу (для контролю видовження арматури), також контролюється температура нагрівання додаткової арматури (рис. 4). Напруження додаткової арматури необхідно виконувати до рівня аналогічному наявному навантаженню (для правильного та ефективного включення її в роботу підсиленої конструкції).

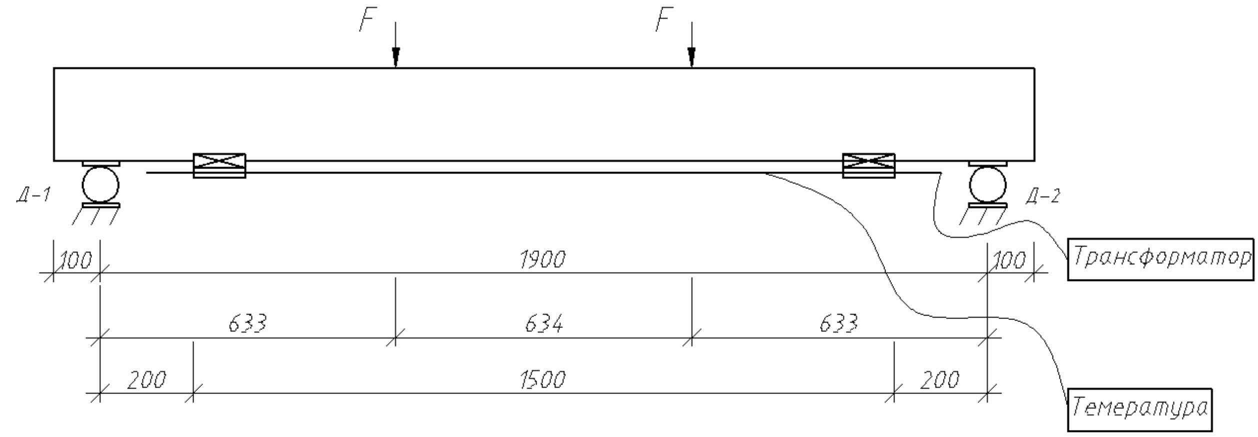


Рис. 4. Схема електротермічного напруження арматури підсилення

Балку необхідно навантажувати ступенями ΔP=0,05P з витримкою на кожному етапі 5 хвилин (тут Р – руйнівне навантаження не підсиленої балки). Після досягнення відповідного рівня навантаження на балку, включається в роботу додаткова арматура за допомогою її електротермічного попереднього напруження. Після цього арматура підсилення фіксується приварюванням її до коротуна, яки з'єднаний із основною робочою арматурою балки (рис. 5).

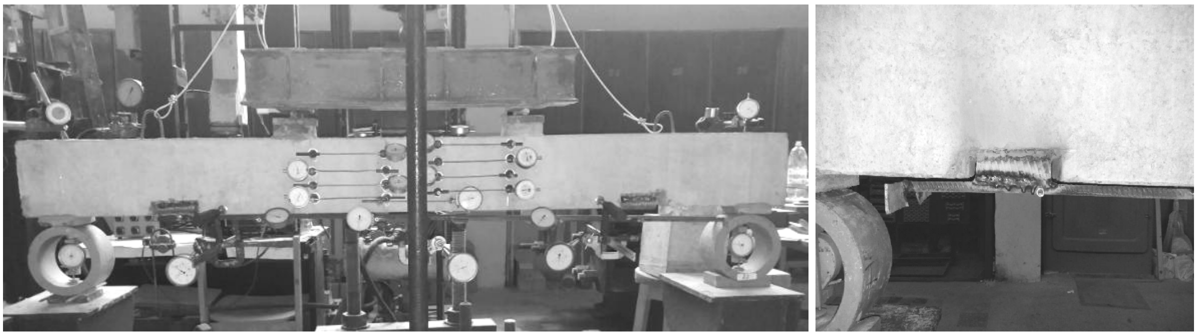


Рис. 5. Вигляд підсиленого зразка залізобетонної балки

Результати досліджень. На першому етапі було проведено випробування непідсилених балок серії ВО. Балки зруйнувались у центральній зоні, де діє максимальний згинальний момент. Руйнівне значення моментів склало 19,17 та 19,01 кНм відповідно. За результатами випробування побудовано графічні залежності деформацій арматури і бетону дослідних зразків балок від зовнішніх зусиль (рис. 6).

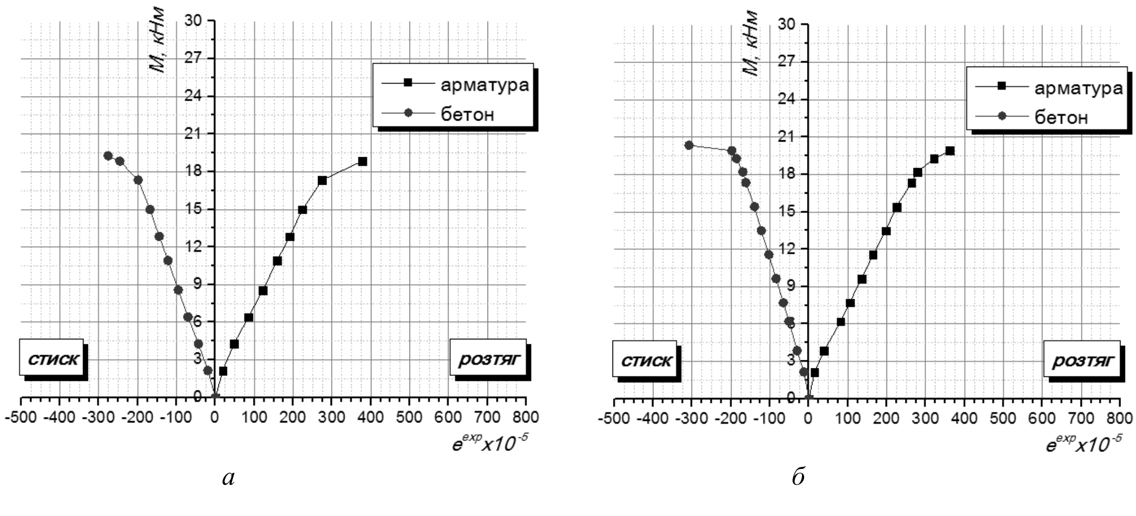


Рис. 6. Деформації арматури та бетону балок серії ВО: а – ВО-1.1; б – ВО-1.2

Руйнування балок серії ВО відбулось через настання текучості поздовжньої арматури балки і з подальшим викришуванням стиснутої зони бетону (рис. 7).

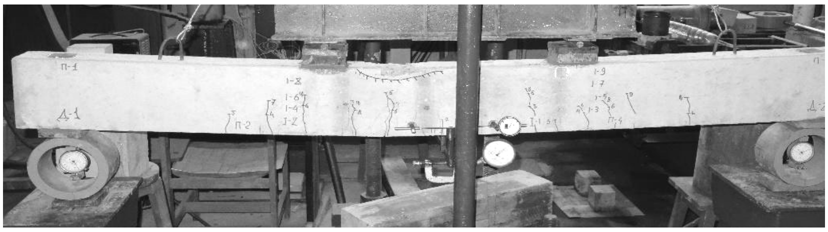
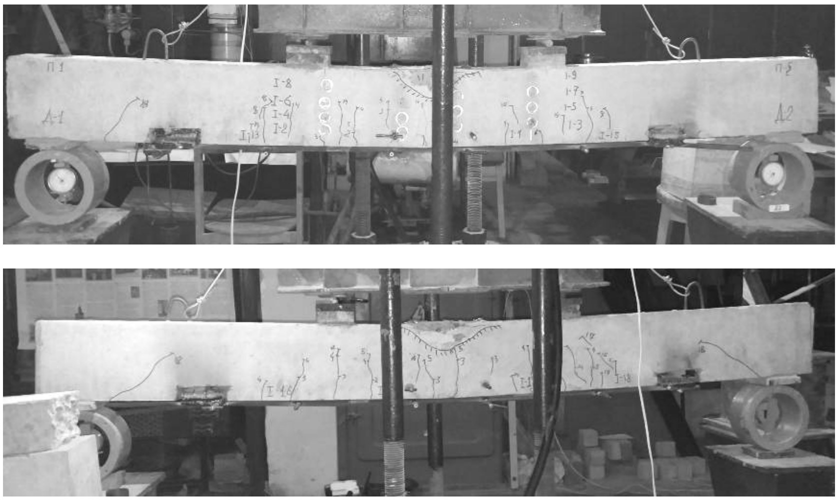


Рис. 7. Зруйнована балки серії ВО

Балки другої серії BR підсилювались нарощуванням арматури під навантаженням, що дорівнює 0,5 M_{exp}, без її попереднього напруження за допомогою зварювання до основної арматури через короткі стержні Ø28 мм.

Балки третьої серії BRR підсилювали також при рівні навантаження 0,5 M_{exp}. Арматура підсилення при цьому попередньо напружувалась електротермічним методом до такого ж рівня напружень, що був в основній арматурі. Фіксували додаткову арматуру за допомогою приварювання через короткі стержні Ø28 мм (рис. 8, а, б).

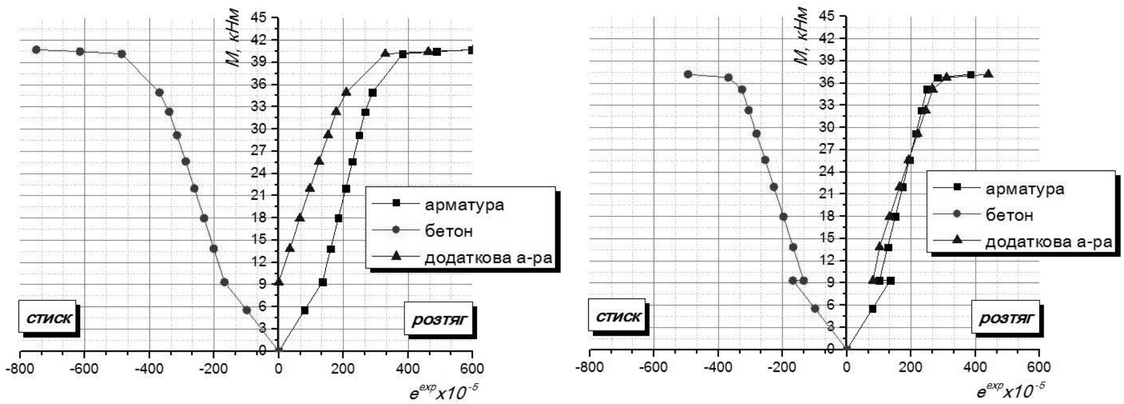


а

б

Рис. 8. Зруйновані балки серії BR та BRR

Балки серії BR та BRR зруйнувались після настання текучості додаткової попередньо напруженої арматури, подальшою текучістю основної арматури і руйнуванням стиснутої зони бетону (рис. 9).



а

б

Рис. 9. Деформації арматури та бетону підсилених балок: а – балок серії BR; б – балок серії BRR

Отримані результати експериментальних досліджень зведено у таблиці.

Результати експериментальних досліджень

Серія балок	Шифр балок	Руйнівне значення М, кНм	Усереднене значення по серії М, кНм	Ефект підсилення, %
ВО	ВО-1.1	19,17	19,08	-
	ВО-1.2	19,01		
BR	BR-2.1-0.5	36,1	36,2	89
	BR-2.2-0.5	36,3		
BRR	BRR-2.1-0.5	36,7	36,8	93
	BRR-2.2-0.5	36,9		

Після проведення випробувань спостерігається підвищення міцності підсилених зразків балок серії BR на 89 %, а серії BRR на 93 %.

Висновки.

1. Підсилення згинаних елементів попередньо напруженою арматурою є простим у застосуванні і не вимагає багато затрат.

2. Ефект підсилення балок, при рівні $0{,}5M_{cr}$, додатковою арматурою без її попереднього напруження, становить 89 %, а із викорстанням попереднього напруження додаткової арматури – 93 %.

1. Du J., Liu X. Experimental study of RC continuous beams strengthened by external prestressing. – Beijing: INNOVATION& SUSTAINABILITY OF MODERN RAILWAY PROCEEDINGS OF ISMR, 2008. – P. 221–227. 2. Kim S., Yang K., Byun H., Ashour A. Tests of reinforced concrete beams strengthened with wire rope units. – Kwangju: ENGINEERING STRUCTURES, 2007. – Vol. 29. – Issue 10. – P. 2711–2722. 3. Minelli F., Plizzari G., Cairns J. Flexure and shear behavior class of RC beams strengthened by external reinforcement. – Cape Town: CONCRETE REPAIR, REHABILITATION AND RETROFITTINGII, 2009. – P. 377–378. 4. Римар Я. В. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсилених під навантаженням нарощуванням арматури: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.01 [Текст] / Римар Ярослав Васильович ; Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2010. – 22 с. 5. Боярчук Б. А. Міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / Б. А. Боярчук. – Луцьк, 2003. – 157 с.

References

1. Du J., Liu X. Experimental study of RC continuous beams strengthened by external prestressing. INNOVATION& SUSTAINABILITY OF MODERN RAILWAY PROCEEDINGS OF ISMR, Beijing, 2008. pp. 221–227. 2. Kim S., Yang K., Byun H., Ashour A. Tests of reinforced concrete beams strengthened with wire rope units. ENGINEERING STRUCTURE, Kwangju, 2007, Vol. 29, pp 2711–2722. 3. Minelli F., Plizzari G., Cairns J. Flexure and shear behavior class of RC beams strengthened by external reinforcement. CONCRETE REPAIR, REHABILITATION AND RETROFITTINGII, Cape Town, 2009, P. 377–378. 4. Rymar Ya. V. Mitsnist' ta deformatyvnist' zalizobetonnykh balok, pidsylenykh pid navantazhennyam naroshchuvannyam armatury: Avtoref. dys. … kand. tekhn. nauk: 05.23.01 [Strength and deformability of the reinforced concrete beams, strengthened by the reinforcing bars under load]. Lviv, 2010. – 22 p. 6. Boiarchuk B. A. Mitsnist', trishchynostiykist' ta deformatyvnist' zalizobetonnykh konstruktsiy pry riznykh sposobakh pidsylennya roztyahnutoyi zony. Avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: 05.23.01 [Strength, crack resistance and deformability of reinforced concrete structures with different methods of strengthening the stretched zone]. – Lutsk, 2003. – 157 p.