

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.6.239-250

УДК 624.04

д.т.н., професор Сур'янінов М.Г.,
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,
к.т.н., доцент Чучмай О.М.,
chuchmai_a@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5856-623X,
Єсванджия В.Ю.,
vakhtanhyes22@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1151-3560,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЕННЯ БАЛКИ, ПОШКОДЖЕНОЇ В РОЗТЯГНУТІЙ ЗОНІ

Наведено результати дослідження несучої здатності пошкодженої під час бойових дій балки, яка була армована сталеві фібробетоном. Розглядається балка з 40% пошкодженням у розтягнутій зоні. Перед бетонуванням в зоні планового пошкодження встановлювався пінопластовий вкладиш, форма і розміри якого відповідали плановому пошкодженню. Після набору бетоном 70% міцності вкладиш видаляли, а утворену порожнину заповнювали 2% сумішшю фібробетону. Це один із варіантів зміцнення балки в комплексній програмі випробувань пошкоджених балок, яка передбачає дослідження серії балок з різними видами пошкоджень, зони пошкодження (розтягнення і стиснення) та її розмірів, геометрії та способу зміцнення. Для тестування автори розробили спеціальний стенд. Плоско-поперечний вигин навантаження досліджуваної балки створюється за допомогою гідравлічного домкрата і металевої двотаврової балки з траверсою, яка передає на балку дві рівновеликі зосереджені сили. Створене навантаження контролюється зразковим динамометром системи Токаря і кільцевим динамометром, який виконує роль опори. Експериментальними дослідженнями встановлено, що балка, переріз якої на 40% пошкоджено в середній розтягнутій зоні, а форма пошкодження має вигляд, близький до прямокутного, має несучу здатність 91,0кН, що становить 92,38% несучої здатності неушкодженої балки (98,5 кН). Тріциноутворення почалося на 5-му етапі навантаження, коли величина навантаження становила 32,5кН, тобто 35,7% несучої здатності пошкодженої балки. При цьому утворилося 4 тріщини. На шостому етапі з'явилися ще три тріщини. На 9-12 етапах навантаження утворилися ще 9 тріщин. Максимальна кінцева ширина розкриття тріщин становила 1,1 мм. При цьому в зоні чистого вигину утворилося 6 тріщин. Протягом всього процесу випробувань фібробетонний вкладиш працював із балкою як єдине ціле. Можна стверджувати, що посилення балки з 40% пошкодженням у

розтягнутій зоні розглянутим у роботі способом дозволяє досягти її несучої здатності, яка становить 92,38% несучої здатності неушкодженої балки.

Ключові слова: пошкоджена балка; сталевібробетон; експеримент; стенд; несуча здатність; тріщина.

Вступ. У процесі експлуатації несучих будівельних конструкцій внаслідок потреби підвищення експлуатаційних навантажень на них, сейсмостійкості будівлі чи споруди, в тому числі, під час бойових дій, виникає необхідність їхнього відновлення або підсилення. Зокрема, це стосується залізобетонних балок, область застосування яких у будівництві величезна, оскільки їм притаманні багато переваг — підвищена міцність, вогнестійкість, швидкість монтажу, довговічність та ін. Підсилення конструкцій замість їх повної зміни призводить до значного економічного ефекту. Відомі різні способи підсилення — за рахунок збільшення перерізів конструкцій шляхом приєднання до них додаткових елементів, бетонних або розчинних сорочок, використання затяжок і створення в них попереднього напруження, а також приєднання металевих пластин у зонах максимальних розтягуючих напружень.

Досить ефективним виявилось підсилення будівельних конструкцій композитними матеріалами, армованими вуглецевими, арамідними, поліефірними і скляними волокнами. Безперечними їхніми перевагами являються висока міцність, стійкість до агресивних впливів оточуючого середовища, легкість повтореннялюбих форм конструкції. Одним із перспективних напрямків є армування пошкодженої зони сталевібробетоном.

Аналіз попередніх досліджень. Підсиленням залізобетонних займалися багато вчених, як нашої країни, так і закордонних. Підсилення балок у розтягнутій зоні розглядалося у роботах [1-11] та ін.

Зупинимось більш детально на роботах останніх років, які відбивають сучасні тенденції та нові підходи до підсилювання залізобетонних конструкцій, зокрема, балок. Останні дослідження характеризуються застосуванням нових високоєфективних будівельних матеріалів, таких як міцні бетони, сталевібробетон, полімербетон, базальтобетон.

Так, у статті [12] наведені результати досліджень несучої здатності звичайних (еталонних) та підсилених вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні та на приопорних ділянках пошкоджених бетонних балок з базальтопластиковою арматурою за дії статичного ступенево зростаючого малоциклового навантаження.

У роботі [13] вивчалися залізобетонні балки, посилені сталевібробетоном. Отримано експериментальні результати з оцінки міцності, жорсткості, тріщиностійкості для 4 досліджуваних зразків (два з кожухами, що зміцнюють,

і два еталонних неукріплених зразка). Встановлено, що застосування оболонки зі сталевібробетону товщиною 45 мм із вмістом волокна 2,5 % збільшує руйнівне навантаження на 20 %, жорсткість – у 3,4–11 разів, тріщиностійкість – у 2,6 рази.

У роботі [14] представлені результати експериментів з пошкодженими залізобетонними балками, посиленими за допомогою різного компонування зовнішніх ламінатів з армованого вуглецевим волокном полімеру (CFRP) та торцевих кріплень.

Дослідження [15] присвячено визначенню здатності залізобетонних балок зі сталевим волокном і без нього поглинати енергію під час вибухового навантаження. Використання оболонки з фібробетону для посилення залізобетонних балок досліджено [16] за допомогою натурних випробувань на балках довжиною 4,55 м. Оболонка з цього матеріалу товщиною 40 мм була нанесена безпосередньо на поверхню балки.

Практично всі роботи, про які тут згадано, присвячені підсиленню балок у розтягнутій зоні.

Мета. Метою роботи було дослідження несучої здатності балки, пошкодженої під час бойових дій, яку у розтягнутій зоні посилили сталевібробетоном.

Матеріали та методи дослідження. Усі дослідження проводились на базі лабораторій кафедри будівельної механіки та кафедри опору матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури. Для виготовлення зразків матеріалу при замішуванні бетонної маси рівномірно додавалася фібра, загальний обсяг якої становив 2% обсягу самого виробу. У ході попередніх досліджень було визначено оптимальний обсяг фібри, що становив 1%, але для посилення пошкодженої конструкції він збільшився вдвічі. Випробування проводилися на призмах та кубах, розмірами 100×100×400 мм та 100×100×100 мм відповідно, витриманих 28 діб. Призми та куби зроблено відповідно до нормативних документів [17].

Виготовлено по 2 групи призм та кубиків. Одна із звичайного бетону, друга – з бетону з анкерною сталеву фібрую. Кожна група складалася із шести зразків. Для дослідження балок використано експериментальні методи механіки.

Результати та обговорення. Для проведення досліджень було розроблено стенд, що складається з жорсткої металевої станини складеного перерізу та двох металевих тяжів $\varnothing 46$ мм (рис. 1). Верхня частина тяжів закінчується різьбленням, за допомогою якого фіксується траверса, яка служить упором для зразкового динамометра. Фіксація траверси здійснюється за допомогою гайок.

Плоско-поперечний вигин на середній частині випробовуваної балки створюється за допомогою гідравлічного домкрата і металеві балки двотаврової траверсою, що передає на балку дві рівні зосереджені сили. Навантаження, що створюється, контролюється зразковим динамометром системи Токаря і кільцевим динамометром, що виконує роль опори.

У процесі випробувань фіксувалося навантаження, що передається на балку, прогини та деформації окремих волокон бетону.



Рис. 1. Випробувальний стенд

Навантаження прикладали ступенями по 0,05 від руйнуючого, величину якого визначили в ході попередніх досліджень. Як руйнівне, приймали навантаження, при якому відбувалося різке збільшення швидкості деформування окремих волокон бетону.

За кожним ступенем навантаження слідувала витримка 8-10 хвилин. Між ступенями відстежувався процес початку та розвитку тріщиноутворення. Прогини вимірювали за допомогою прогиноміру Максимова, а деформації — індикаторами годинного типу з ціною поділу 0,01 мм. Індикатори розташовували у характерних зонах роботи балки. Перші чотири — в середній частині балки, де є чистий вигин. Ще 6 індикаторів у зонах передачі навантаження. База вимірів деформацій усіх індикаторів — 24 см.

Програмою випробувань передбачено дослідження серії балок із різним характером ушкоджень. Варіювалася зона пошкодження (розтягнута та стиснута), геометрія зони пошкодження та спосіб посилення.

У цій роботі описуються результати посилення балки, переріз якої на 40% пошкоджено в середній розтягнутій зоні, а форма пошкодження показана на рис. 2, 3.

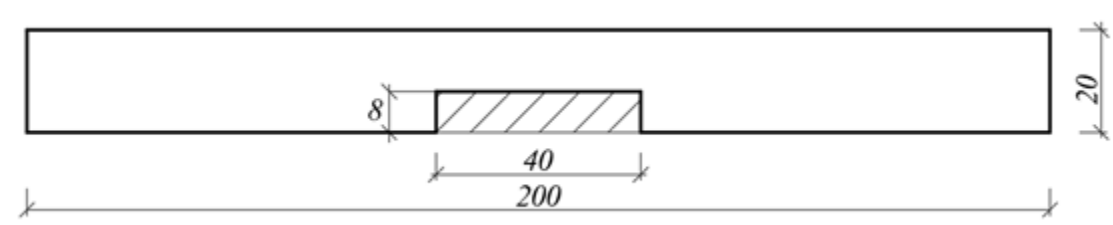


Рис. 2. Схема балки, пошкодженої у розтягнутій зоні



Рис. 3. Зразок балки, пошкодженої у розтягнутій зоні

Дослідження проводили на балках прямокутного перерізу розмірами 200x120мм, армованих двома вертикальними каркасами (рис. 4). Нижня поздовжня арматура — $\varnothing 12$ мм, верхня — $\varnothing 8$ мм. Для поперечного армування використовували стрижні $\varnothing 6$ мм із кроком 87,5 мм. У зоні прольоту зрізу поперечне армування виконане стрижнями мм. Довжина прольоту зрізу — $2h_0$. Робоча висота перерізу — 174мм.

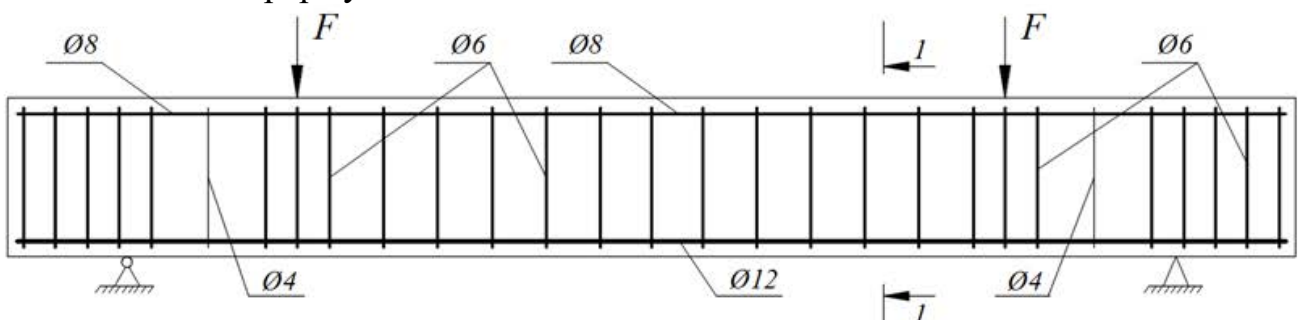


Рис. 4. Армуння балок

Перед бетонуванням у зоні запланованого пошкодження встановлювався пінопластовий вкладиш, форма та розміри якого відповідали пошкодженню. Після набору бетоном 70% міцності вкладиш витягувався, а порожнина, що утворилася, заповнювалася 2% сумішшю з фібробетону. Несуча здатність

пошкодженої балки з посиленням дорівнювала 91,0кН, що становить 92,38% несучої здатності неушкодженої балки (98,5кН).

Графік залежності відносної поздовжньої деформації від навантаження для лівої опорної частини балки, наведено на рис. 4, а для зони чистого згину — на рис. 5.

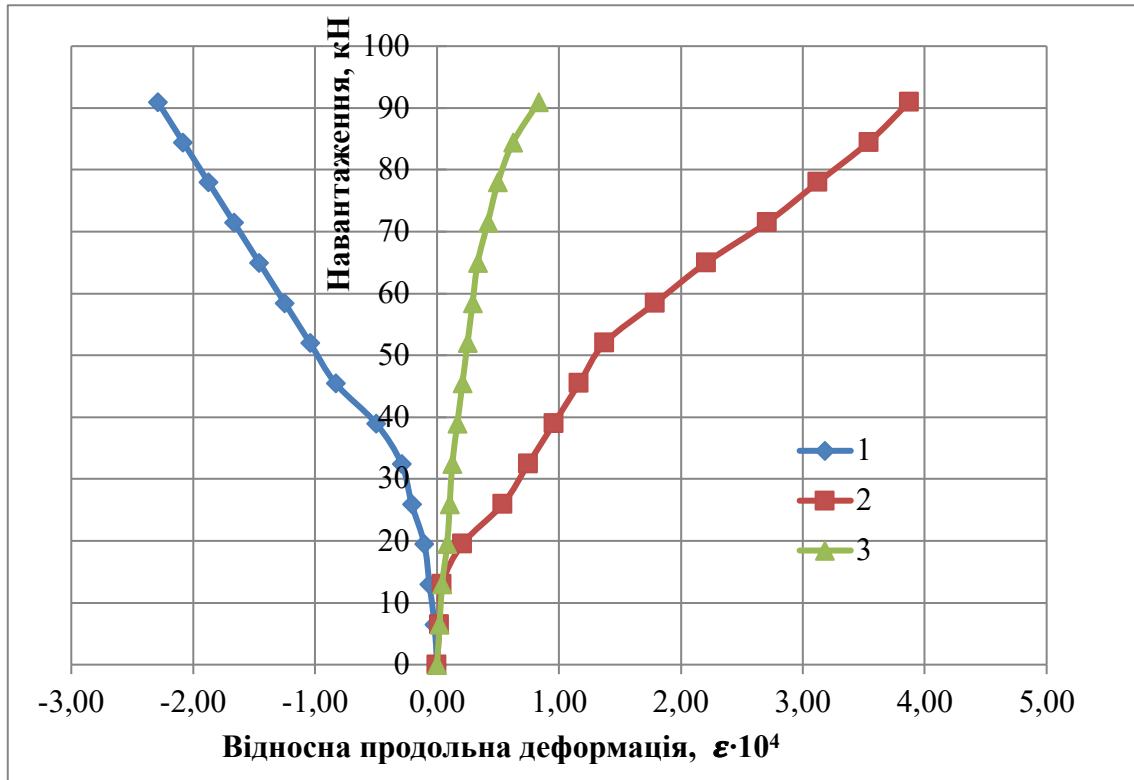


Рис. 4. Залежність відносної поздовжньої деформації від навантаження для лівої опорної частини балки за показаннями індикаторів 1, 2, 3

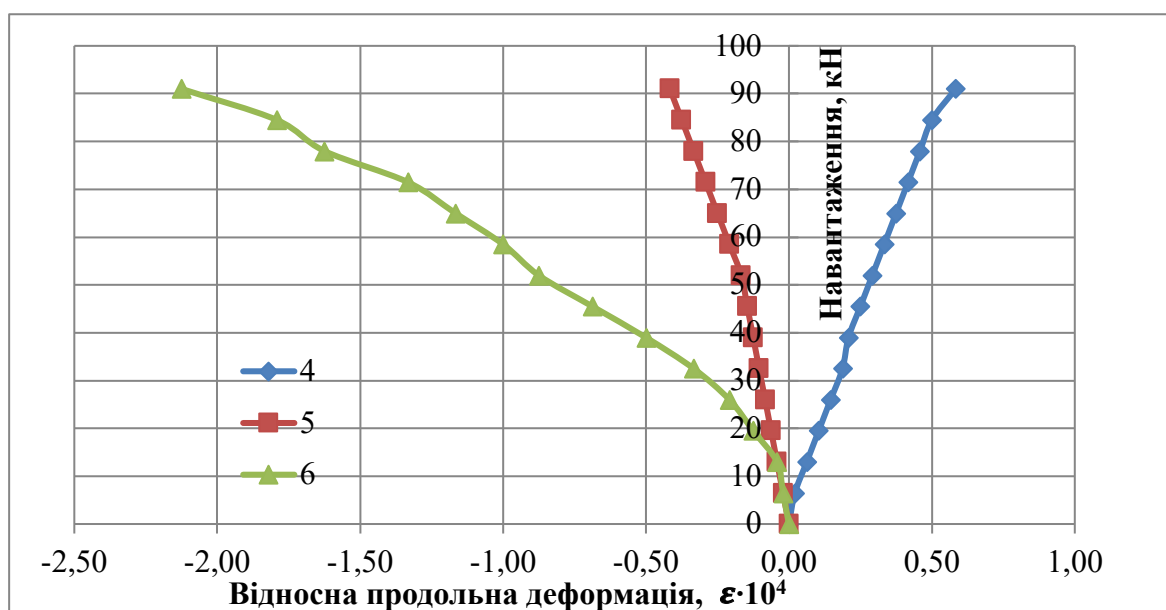


Рис. 5. Залежність відносної поздовжньої деформації від навантаження для зони чистого згину балки за показаннями індикаторів 4, 5, 6

Тріщиноутворення почалося на 5-му етапі навантаження, коли величина навантаження становила 32,5кН, тобто 35,7% несучої здатності пошкодженої балки. При цьому у зоні чистого згину утворилося 6 тріщин. Утворення тріщин (рис. 6) та ширина їх розкриття на всіх етапах навантаження наведена в табл. 1.

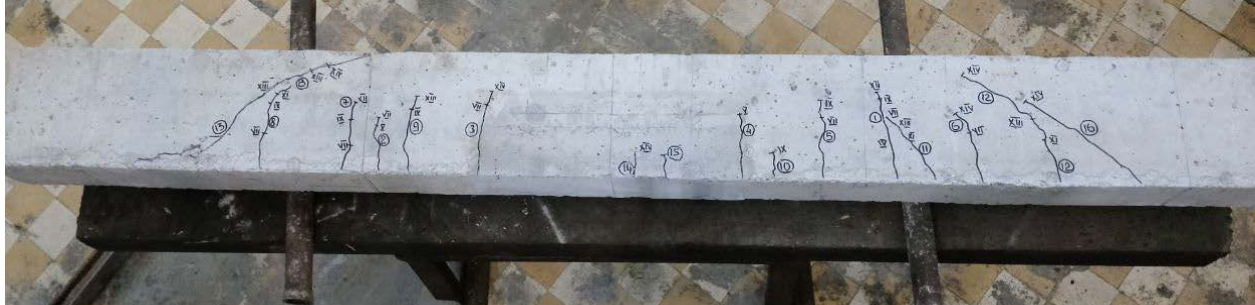


Рис. 4. Утворення тріщин у пошкодженій балці

Таблиця 1

Тріщини у пошкодженій балці

Ступень навантаження	Величина навантаження, кН	Номер тріщини	Остаточна ширина розкриття, мм
1	6,5		
2	13,0		
3	19,5		
4	26,0		
5	32,5	1-4	1, 3 — 0,4; 2 — 0,3; 4 — 0,4
6	39,0	5-7	5 — 0,3; 6, 7 — 0,3
7	45,5		
8	52,0		
9	58,5	8-11	8, 9, 11 — 0,3; 10 — 0,2
10	65,0	12-13	12 — 0,9; 13 — 1,0
11	71,5	14	14 — 1,0
12	78,0	15, 16	15, 16 — 1,1
13	84,5		
14	91,0		

Слід зазначити, що до руйнування сталеві фібробетонний вкладиш працював з балкою як єдине ціле.

Висновки

Таким чином, проведені експериментальні дослідження показали, що балка, переріз якої на 40% пошкоджено в середній розтягнутій зоні, а форма пошкодження має вигляд, близький до прямокутного, має несучу здатність 91,0кН, що становить 92,38% несучої здатності неушкодженої балки (98,5 кН).

Тріщиноутворення почалося на 5-му етапі навантаження, коли величина навантаження становила 32,5кН, тобто 35,7% несучої здатності пошкодженої балки. При цьому утворилося 4 тріщини. На шостому етапі з'явилися ще три тріщини. На 9-12 етапах навантаження утворилися ще 9 тріщин. Максимальна кінцева ширина розкриття тріщин становила 1,1 мм. При цьому в зоні чистого вигину утворилося 6 тріщин. Протягом всього процесу випробувань фібробетонний вкладиш працював із балкою як єдине ціле. Можна стверджувати, що посилення балки з 40% пошкодженням у розтягнутій зоні розглянутим у роботі способом дозволяє досягти її несучої здатності, яка становить 92,38% несучої здатності неушкодженої балки.

Список літератури

1. Борисюк О.П. Напружено-деформований стан залізобетонних балок підсилених під навантаженням сталеві фібробетоном і композитами при дії малоциклових навантажень // О.П. Борисюк, Ю.Ю. Зятюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Рівне: НУВГП, 2016. Вип. 33. С. 298 - 303.
2. 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.
3. Сунак О.П. Міцнісні характеристики дослідних залізобетонних балок, підсилених різними способами / Сунак О.П., Сунак П.О., Маліков В.В., Боярчук Б.А. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2005. Вип. 13. С. 367 - 371.
4. Бурчєня С.П., Фамуляк Ю.Є. Порівняння несучої здатності та деформативності комплексних легкобетонних елементів, посилених та непосилених композитною арматурою. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2018. Вип. 36. С.349-355.
5. Климпуш М.Д. Дослідження залізобетонних балок з багаторядною арматурою, підсилених композитними матеріалами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2001. Вип. 7. С. 252 - 260.
6. Климпуш М.Д. Дослідження витривалості залізобетонних балок зі зварною каркасною арматурою, підсилених наклеєними вуглепластиками. / Климпуш М.Д., Кваша В.Г. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Збірник наукових праць. Львів, 2007. Вип. 7. С. 621 - 632.
7. Климпуш М.Д. Міцність, витривалість та деформативність залізобетонних згинальних елементів, підсилених наклеєними композитними стрічками: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / М.Д. Климпуш // Київ, 2010. 259 с.

8. Климпуш М.Д. Реконструкція залізобетонного автодорожнього моста з підсиленням балок приклеєними вуглепластиками / В.Г. Кваша, І.В. Мельник, М.Д. Климпуш // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2003. Вип.10. С.267 - 275.

9. Климпуш М.Д. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених вуглецевими полімерами / М.Д. Климпуш, В.Г. Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, 2007. Вип. 15. С. 270 - 276.

10. Перлова О.М. Несуча здатність, жорсткість та деформативність залізобетонних елементів із змішаним армуванням: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / О.М. Перлова; Державний НДІ будівельних конструкцій // Київ, 2008. 241 с.

11. Смолянінов М.Ю. Підвищення міцності й тріщиностійкості залізобетонних елементів, підсилених акриловим полімеррозчином, при дії короткочасних статичних і багаторазово повторних навантажень: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / М.Ю. Смолянінов // Харків: УДАЗТ, 2007. 23 с.

12. Карпюк, Ірина & Глібоцький, Роман & Карпюк, Василь & Целікова, Аліна & Костюк, Анатолій. (2022). Порівняльний аналіз несучої здатності еталонних та пошкоджених бетонних балок з базальтопластиковою арматурою, підсилених вуглепластиковим полотном. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. С. 290-297.

13. Radaikin Oleg, Sharafutdinov Linar. Reinforced concrete beams strengthened with steel fiber concrete. August 2020 IOP Conference Series Materials Science and Engineering 890(1):012045. DOI:[10.1088/1757-899X/890/1/012045](https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012045)

14. Ning Zhuang, Honghan Dong, Da Chen, Yeming Ma. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites. October 2018. Advances in Materials Science and Engineering 2018(6):1-9. DOI:[10.1155/2018/6260724](https://doi.org/10.1155/2018/6260724)

15. Fatih Altun, Mehmet M. Köse, Canan Yilmaz, Kamuran Arı. Experimental investigation of reinforced concrete beams with and without steel fiber under explosive loading. January 2008. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences 14(6):419-426.

16. Martinola, Giovanni & Meda, Alberto & Plizzari, Giovanni & Rinaldi, Zila. (2010). Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete. Cement & Concrete Composites. 32. 731-739. [10.1016/j.cemconcomp.2010.07.001](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.001).

17. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,
PhD **Oleksandr Chuchmai**,
Postgraduate **Vakhtanh Yesvandzhyia**
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE STRENGTHENING OF A BEAM DAMAGED IN THE TENSILE ZONE

The paper presents the results of a study of the bearing capacity of a beam damaged during hostilities, which was reinforced with steel-reinforced concrete. Consider a beam with 40% damage in the stretched zone. Before concreting, a foam insert was installed in the zone of planned damage, the shape and dimensions of which corresponded to the planned damage. After the concrete set to 70% strength, the liner was removed, and the formed cavity was filled with a 2% fiber concrete mixture. This is one of the options for beam strengthening in a complex program of testing damaged beams, which involves the study of a series of beams with different types of damage, the damage zone (tension and compression) and its dimensions, geometry and method of strengthening. For testing, the authors developed a special stand. The plane-transverse load bending of the beam under study is created with the help of a hydraulic jack and a metal I-beam with a traverse, which transmits two equally concentrated forces to the beam. The generated load is controlled by a model dynamometer of the Tokar system and a ring dynamometer, which acts as a support. Experimental studies have established that a beam whose cross-section is 40% damaged in the middle stretched zone, and the shape of the damage is close to rectangular, has a bearing capacity of 91.0 kN, which is 92.38% of the bearing capacity of an intact beam (98.5 kN). Cracking started at the 5th loading stage, when the load value was 32.5kN, i.e. 35.7% of the bearing capacity of the damaged beam. At the same time, 4 cracks were formed. At the sixth stage, three more cracks appeared. At stages 9-12 of loading, 9 more cracks formed. The maximum final crack opening width was 1.1 mm. At the same time, 6 cracks formed in the zone of clean bending. During the entire testing process, the fiber concrete liner worked with the beam as a single unit. It can be argued that the strengthening of a beam with 40% damage in the stretched zone in the manner considered in the paper allows to achieve its bearing capacity, which is 92.38% of the bearing capacity of an undamaged beam.

Keywords: damaged beam; reinforced concrete; experiment; stand; bearing capacity; crack.

REFERENCES

1. Borysiuk O.P. The stress-strain state of reinforced concrete beams reinforced under load with steel-reinforced concrete and composites under the action of short-cycle loads// O.P. Borysiuk, Yu.Yu. Zyatuk // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: Rivne: NUVHP, 2016. Issue. 33. P. 298 - 303. {in Ukrainian}.
2. Boyarchuk B.A. Strength, crack resistance and deformability of reinforced concrete structures with different methods of strengthening the stretched zone: diss. Ph.D. technical Sciences: 05.23.01 / B.A. Boyarchuk // Lutsk, 2003. 157 p. {in Ukrainian}.
3. Sunak O.P. Strength characteristics of experimental reinforced concrete beams reinforced by various methods / Sunak O.P., Sunak P.O., Malikov V.V., Boyarchuk B.A. // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: Collection of scientific papers. Rivne: NUVHP, 2005. Issue 13. C. 367 - 371. {in Ukrainian}.
4. Burchenya S.P., Famulyak Yu.E. Comparison of bearing capacity and deformability of complex lightweight concrete elements reinforced and unreinforced with composite reinforcement. Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne, 2018. Issue 36. P.349-355. {in Ukrainian}.
5. Klympush M.D. Research of reinforced concrete beams with multi-row reinforcement reinforced with composite materials // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne, 2001. Issue 7. P. 252 - 260. {in Ukrainian}.
6. Klympush M.D. Study of durability of reinforced concrete beams with welded frame reinforcement, reinforced with glued carbon plastics. / Klympush M.D., Kvasha V.G. // Mechanics and physics of destruction of building materials and structures: Collection of scientific works. Lviv, 2007. Vol. 7. P. 621 - 632. {in Ukrainian}.
7. Klympush M.D. Strength, durability and deformability of reinforced concrete flexural elements reinforced with glued composite tapes: dissertation. Ph.D. technical Sciences: 05.23.01 / M.D. Klympush // Kyiv, 2010. 259 p. {in Ukrainian}.
8. Klympush M.D. Reconstruction of a reinforced concrete road bridge with reinforcement of beams with glued carbon fiber plastics / V.G. Kvasha, I.V. Melnyk, M.D. Klympush // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne, 2003. Issue 10. P.267 - 275. {in Ukrainian}.
9. Klympush M.D. Calculation of the strength of normal sections of reinforced concrete beams reinforced with carbon polymers / M.D. Klympush, V.G. Kvasha // Resource-saving materials, constructions, buildings and structures. Rivne, 2007. Issue 15. P. 270 - 276. {in Ukrainian}.

10. Perlova O.M. Bearing capacity, stiffness and deformability of reinforced concrete elements with mixed reinforcement: thesis. Ph.D. technical Sciences: 05.23.01 / O.M. Perlova; State Research Institute of Building Structures // Kyiv, 2008. 241 p. {in Ukrainian}.

11. Smolyaninov M.Yu. Increasing the strength and crack resistance of reinforced concrete elements reinforced with an acrylic polymer solution under the action of short-term static and repeatedly repeated loads: autoref. thesis Ph.D. technical Sciences: 05.23.01 / M.Yu. Smolyaninov // Kharkiv: UDAZT, 2007. 23 p. {in Ukrainian}.

12. Karpyuk, Iryna & Hlibotskyi, Roman & Karpyuk, Vasyl & Tselikova, Alina & Kostyuk, Anatoly. (2022). Comparative analysis of the load-bearing capacity of reference and damaged concrete beams with basalt plastic reinforcement reinforced with carbon fiber web. *Resource-saving materials, constructions, buildings and structures*. P. 290-297. {in Ukrainian}.

13. Radaikin Oleg, Sharafutdinov Linar. Reinforced concrete beams strengthened with steel fiber concrete. August 2020 IOP Conference Series Materials Science and Engineering 890(1):012045. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012045. {in English}

14. Ning Zhuang, Honghan Dong, Da Chen, Yeming Ma. Experimental Study of Aged and Seriously Damaged RC Beams Strengthened Using CFRP Composites. October 2018. *Advances in Materials Science and Engineering* 2018(6):1-9. DOI:10.1155/2018/6260724. {in English}

15. Fatih Altun, Mehmet M. Köse, Canan Yilmaz, Kamuran Ari. Experimental investigation of reinforced concrete beams with and without steel fiber under explosive loading. January 2008. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences* 14(6):419-426. {in English}

16. Martinola, Giovanni & Meda, Alberto & Plizzari, Giovanni & Rinaldi, Zila. (2010). Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete. *Cement & Concrete Composites*. 32. 731-739. 10.1016/j.cemconcomp.2010.07.001. {in English}

17. DSTU B V.2.7-214:2009 Concretes. Methods of determination of strength according to control samples. K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2010. 43 p. {in Ukrainian}.