

Дослідження залізобетонних балок з пошкодженою робочою арматурою за дії навантаження

Зіновій Бліхарський¹, Павло Вегера², Тарас Шналь³

¹Національний університет «Львівська політехніка» Інститут будівництва та інженерії доквілля
79013, Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери 12

Zinovii.Z.Blikharskyi@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4823-6405

²Національний університет «Львівська політехніка» Інститут будівництва та інженерії доквілля
79013, Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери 12

Pavlo.I.Vehera@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-3437-1825

³Національний університет «Львівська політехніка» Інститут будівництва та інженерії доквілля
79013, Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери 12

Taras.M.Shnal@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4226-9513

Анотація. В усіх залізобетонних конструкціях наявні дефекти: початкові (отримані при виготовленні) та експлуатаційні (які виникають під час експлуатації елемента). Експлуатаційні дефекти виникають під впливом зовнішнього середовища, агресивного середовища та від механічних впливів. Усі ці пошкодження виникають під дією навантаження – починаючи від власної ваги конструкції та вище лежачих елементів і закінчуючи роботою конструкції в експлуатаційні стадії. Усі дефекти, які виникають при дії будь якого рівня навантаження, призводять до зміни напружено-деформованого стану. Особливої уваги заслуговують дослідження пошкодження розтягнутого армування в згинаних залізобетонних елементах. Тому метою даної статті є визначити вплив на міцність залізобетонних згинаних елементів пошкоджень розтягнутої арматури, отриманих за дії навантаження. Для досягнення поставленої мети досліджень було запроєктовано 6 дослідних залізобетонних балок, які поділили на 2 серії: 4 зразки 1 серії та 2 зразки 2-ї. Усі зразки були ідентичних геометричних розмірів. Відмінність полягає в діаметрі розтягнутої арматури: зразки 1-ї серії армовані одним стержнем діаметром 20 мм класу А500С, а зразки 2-ї серії - одним стержнем діаметром 16 мм класу А500С. Корозію арматури імітували шляхом висвердлювання отвору посередині зразка діаметром 5.6 мм. Такий діаметр отвору відповідає корозії поперечного перерізу арматури діаметром 20 мм до діаметра 16 мм. Пошкодження виконувалось при рівні



Зіновій Бліхарський
аспірант кафедри опору матеріалів та будівельної механіки



Павло Вегера
асистент кафедри будівельних конструкцій та мостів
к.т.н.



Тарас Шналь
доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів
к.т.н. доцент

початкового навантаження 0.7 від несучої здатності контрольних зразків. Вичерпання несучої здатності контрольних зразків відбувалось за рахунок досягнення граничних деформацій стиснутою зоною бетону, а для зразків 2-ї серії також настанням текучості в розтягнуті арматурі. Пошкоджені зразки 2-ї серії руйнувались через розрив розтягнутого армування та розламом зразка на дві частини. В той час граничні деформації в стиснутій зоні бетону не досягалися. За результатами досліджень встановлено, що при зменшенні площі поперечного перерізу арматури на 35 %,

внаслідок пошкодження розтягнутої арматури отвором діаметром 5.6 мм, при дії навантаження, несуча здатність пошкоджених зразків зменшилась на 11%. В той час як зразки з еквівалентним діаметром арматури до діаметру пошкодженого зразка показали несучу здатність меншу на 37% що приблизно відповідає зменшенню площі поперечного перерізу розтягнутого армування.

Ключові слова. залізобетонні балки, міцність, пошкодження, дефекти, за дії навантаження.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження напружено деформованого стану залізобетонних конструкцій є завжди актуальним питанням. Вдосконалення принципів проектування, методів підсилення та основних параметрів їх роботи, як правило, проводиться на лабораторних зразках. В більшості таких досліджень не враховують що будь які зміни в напружено деформованому стані залізобетонних елементів відбуваються при певному рівні навантаження – починаючи від власної ваги і закінчуючи роботою при експлуатаційному рівні навантаження, незадовго до вичерпання експлуатаційної придатності чи навіть несучої здатності. Зміни, які виникають в конструкціях при дії навантаження, призводять до перерозподілу напружень та деформацій. Тому результати досліджень без початкового навантаження та при певному рівні навантаження матимуть відмінності, що впливають на визначення їх стану для реальних конструкцій.

Найбільш яскравим прикладом є виникнення пошкоджень та дефектів залізобетонних конструкцій внаслідок корозії. Нові конструкції мають незначні дефекти пов'язані з виготовленням та транспортуванням, проте найбільше на несучу здатність впливають дефекти, які розвиваються під час експлуатації, що супроводжується певним рівнем навантаження конструкції.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження залізобетонних конструкцій з різними типами пошкоджень є актуальним питанням зважаючи на широке практичне застосування.

Довговічність і несуча здатність в загальному випадку залежать не тільки від силових навантажень, але і від впливу навколишнього середовища [1].

Значний інтерес мають нечисленні натурні дослідження елементів будівельних конструкцій, які експлуатуються в умовах впливу агресивного середовища [2, 3]. На підставі даних про довговічність залізобетонних балок перекриття промислових споруд виведено експоненціальну залежність глибини нейтралізації бетону (корозійного руйнування) від часу, а також співвідношення для оцінювання глибини корозії арматурних стержнів [4].

Одним із факторів пошкодження також може бути сейсмічний вплив. У праці [5] розглянуто пошкодження залізобетонних конструкцій після додаткового сейсмічного навантаження, внаслідок чого зруйновано несучі конструкції розглянутих будівель в праці та проведено аналіз та розрахунок.

Досліджено вплив секційних поздовжніх пошкоджень бетону на несучу здатність та експлуатаційну придатність залізобетонних балок при циклових навантаженнях [6].

Також вивчається пошкодження залізобетонних елементів різноманітними механічними пошкодженнями, які зменшують поперечний переріз [7].

Широко поширені роботи щодо комп'ютерного моделювання корозійних пошкоджень залізобетонних конструкцій [8, 9], зокрема моделювання корозійного пошкодження сталі в бетоні [10].

Необхідність підсилення або відновлення будівельних конструкцій виникає не тільки при реконструкції або переоснащенні, але і внаслідок передчасного корозійного або механічного зношення. Втрата експлуатаційних якостей може виникнути внаслідок ускладнень або

непередбачених проектом змін технології виробництва або різних пошкоджень та дефектів тощо.

Багато робіт присвячені підсиленню пошкоджених конструкцій. На даний час широко використовують різноманітні склеюючі суміші, як з модифікованих цементів, так і полімерних клеїв різних типів [11, 12, 13]. При цьому розроблені матеріали для зчеплення старого і нового бетонів мають тривалий час до початку тужавіння, який може тривати до п'яти-шести годин. Важливу роль при такому способі підсилення є сумісна робота старого та нового бетону, що досягається різноманітними насічками, обробка поверхні підсилення різноманітними абразивними матеріалами тощо.

Останнім часом популярним стає підсилення пошкоджених залізобетонних конструкцій високоміцними бетоном (Ultra High Performance Concrete) [14] та різноманітними композитними матеріалами [15, 16]. Підсилення такими методами є швидким способом збільшення несучої здатності, при незначній зміні геометричних розмірів.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі проаналізованих джерел було поставлена наступна мета досліджень: визначити вплив на міцність залізобетонних згинаних елементів пошкоджень розтягнутої арматури, отриманих за дії навантаження.

Мета досліджень досягається виконанням наступних задач досліджень:

- визначити експериментальну несучу здатність контрольних залізобетонних балок з проектним діаметром арматури;
- визначити несучу здатність залізобетонних балок, з контрольованим значенням пошкодження розтягнутої арматури, отриманим за дії експлуатаційного рівня навантаження;
- визначити несучу здатність контрольних залізобетонних балок з робочим армуванням еквівалентним по площі до пошкодженого;
- провести аналіз отриманих результатів.

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставлених задач досліджень було запроєктовано 6 дослідних зразків – залізобетонних балок.

Зразки поділено на дві серії – 4 зразки 1-ї серії та 2 зразки 2-ї серії. Усі дослідні зразки маркуються наступним чином БЗ – контрольна балка, або БП – балка пошкоджена; перша цифра – номер серії, друга цифра – номер дослідного зразку. Для прикладу БЗ 1.2 означає, що випробувано другу контрольну балку з 1-ї серії. Індекс 0.7 означає рівень, при якому виконувалось пошкодження, прийнятий від отриманого руйнівного, для звичайних балок.

Усі зразки були ідентичних геометричних розмірів: поперечним перерізом 200×100 мм., довжиною 2100 мм. Зразки 1-ї серії армувались проектним робочим армуванням 1Ø20 А 500С [17] (площею поперечного перерізу $A_s=3.1 \text{ см}^2$), у другій серії 1Ø16 А 500С [17] (площею поперечного перерізу $A_s=2.0 \text{ см}^2$). Стиснута та поперечна арматура є ідентична для обох серій, та виконана у вигляді Ø5 В 500. Основні геометричні розміри та розміщення внутрішнього армування наведено в роботі [18]. Бетон для дослідних зразків прийнятий класу С30/35 [19].

Дослідження проводили шляхом прикладання статичного навантаження двома зосередженими силами. Два зразки з 1-ї та 2-ї серій випробовували як контрольні (без пошкоджень). Наступні два зразки з 1-ї серії випробовували наступним чином:

- поетапно, згідно з методикою дослідження, зразки доводили до рівня навантаження 0,7 від очікуваного руйнівного значення;
- виконували пошкодження шляхом висвердлювання одного отвору Ø3 мм. Збільшували діаметр отвору по 0.5 мм до Ø5,6 мм. При такому пошкодженні

залишковий діаметр арматури відповідає $\varnothing 16$ мм;

- зразки навантажували аналогічно навантаженню 1 етапу, до настання фізичного руйнування.

Схема розташування приладів наведена в роботі [18].

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Згідно попереднього розрахунку контрольні зразки 1-ї серії були переармовані, для можливості виконання пошкодження. Тоді як зразки 2-ї серії були нормально армовані. Як наслідок

вичерпання несучої здатності контрольних зразків 1-ї серії відбулося через настання граничних значень деформацій стиснутої зони бетону. Для контрольних зразків 2-ї серії вичерпання несучої здатності відбувалось через настання текучості в розтягнутій арматурі та викришування стиснутої зони бетону.

Для зразків пошкоджених при рівні 0.7 від очікуваної несучої здатності контрольних зразків, характер руйнування змінився. Балка руйнувалась внаслідок розриву робочої арматури і розламу на дві частини (рис.1.)

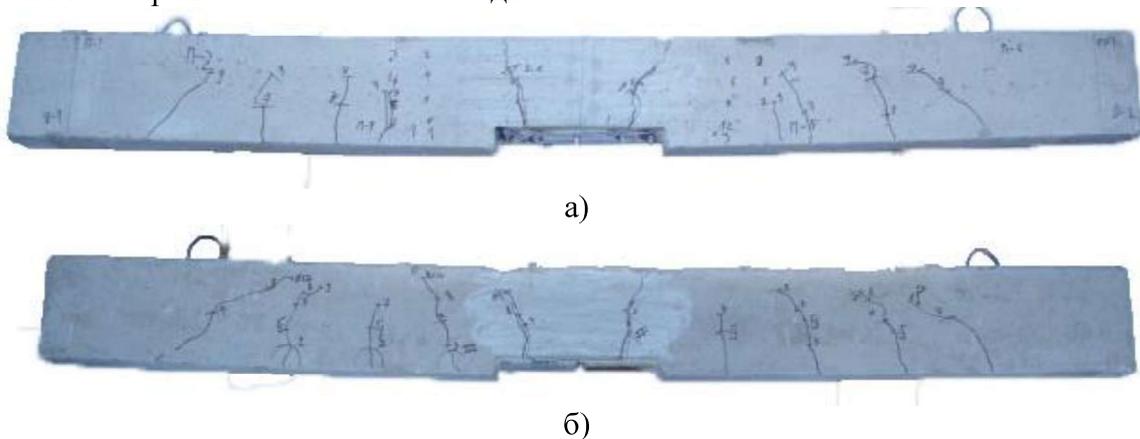


Рис.1. Характер руйнування зразків БП 1.3-0.7 (а) та БП 1.4-0.7 (б) з пошкодженням розтягнутого армування одним отвором діаметром 5,6 мм, при рівні навантаження 0,7 від очікуваного руйнівного значення

Fig.1. The character of the destruction of samples БП 1.3-0.7 (а) and БП 1.4-0.7 (б) with damage of tensile rebar with one hole of 5.6 mm in diameter, with a load level of 0.7 from the expected destructive value

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За критерій вичерпання несучої здатності прийнято такі умови [19]:

- втрата рівноваги між внутрішніми і зовнішніми зусиллями;

- руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень ε_{cu1} , ε_{cu2} , або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій ε_{ud} .

Вичерпання несучої здатності відбулось аналогічно до типу руйнування. Для контрольних зразків 1-ї серії вичерпання

несучої здатності відбулось при досягненні найбільш стиснутою фіброю стиснутої зони бетону граничних значень. Для пошкоджених зразків вичерпання несучої здатності відбулось шляхом розриву розтягнутих стержнів арматури внаслідок досягнення граничних деформацій. Зразки 2 серії вичерпали несучу здатність за тим же критерієм, що і контрольні зразки 1-ї серії.

Згідно отриманих даних несуча здатність зразків 1-ї серії з пошкодженнями є нижча від контрольних зразків 1-ї серії на 11% тоді як площа поперечного перерізу зменшилась на 35%. Для порівняння, несуча здатність зразків 2-ї серії, що мають

еквівалентну площу армування, є меншою на 37%, що приблизно відповідає зменшенню діаметра арматури.

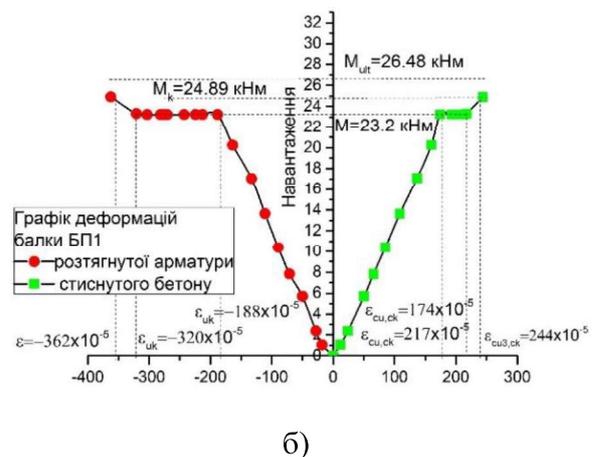
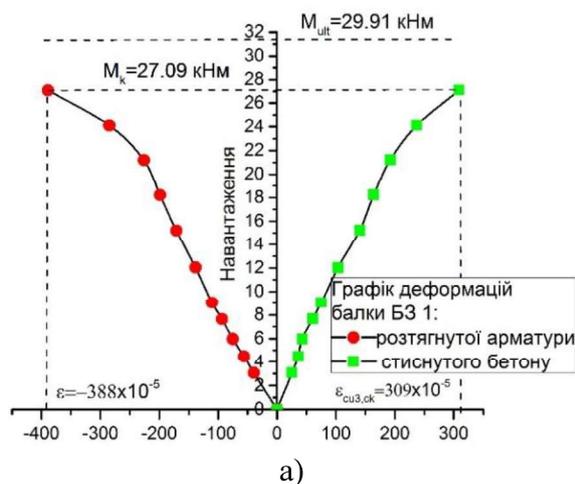
На основі експериментальних даних встановлено, що при рівні навантаження 0.7 від несучої здатності контрольних зразків, міцність пошкоджених

залізобетонних балок є вищою ніж для зразків з еквівалентним армуванням на 32%.

На основі показів індикаторів годинникового типу було побудовано графіки деформування стиснутої зони бетону та розтягнутого армування (рис.2)

Табл. 1. Несуча здатність контрольних та пошкоджених залізобетонних балок 1-ї та 2-ї серії
Table 1. Bearing capacity of control and damaged reinforced concrete beams of the 1st and 2nd series

| Шифр дослідної балки | Несуча здатність зразка, M_{Ed} , кН·м | Середнє значення несучої здатності, $\overline{M_{Ed}}$, кН·м | Відношення площі поперечного перерізу розтягнутої арматури, $\frac{A_S}{A_S^{B32}}$ | Відношення несучої здатності $\frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^{B32}}$ | Відношення площі поперечного перерізу розтягнутої арматури, $\frac{A_S}{A_S^{B31}}$ | Відношення несучої здатності $\frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^{B31}}$ |
|----------------------|--|--|---|--|---|--|
| БЗ 1.1 | 31.14 | 29.91 | 1.55 | 1.58 | - | - |
| БЗ 1.2 | 28.67 | | | | | |
| БП 1.3-0.7 | 27.25 | 26.48 | 1.00 | 1.32 | 0.65 | 0.89 |
| БП 1.4-0.7 | 25.71 | | | | | |
| БЗ 2.5 | 19.00 | 18.91 | 1.00 | - | 0.65 | 0.63 |
| БЗ 2.6 | 18.82 | | | | | |



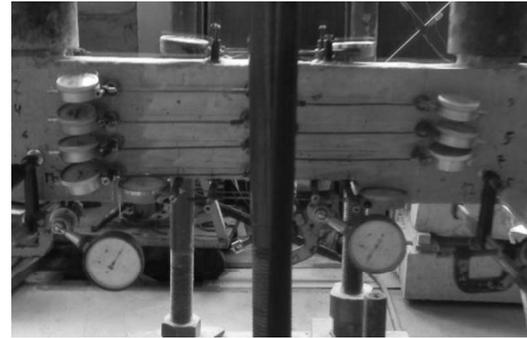
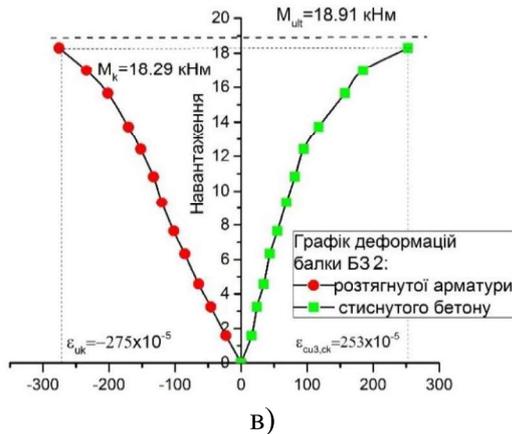


Рис.2. Усереднені графіки деформування стиснутого бетону та розтягнутої арматури для контрольних зразків 1-ї серії (а) і 2-ї серії (в) та для пошкоджених зразків 1-ї серії (б). Фото розташування вимірювальних приладів (г) на всіх зразках

Fig.2. Averaged graphs of deformation of compressed concrete and tensile rebar for the control samples of the 1st series (a) and 2nd series (б) and for damaged samples of the 1st series (b). Photo of placing measurement instrument (г) for all samples

Згідно наведених графіків деформування балок з пошкодженою арматурою відповідає деформуванню з еквівалентним армуванням. Тоді як для контрольних зразків 1-ї серії деформації набувають значно вищих значень. Під час пошкодження зафіксовано високий приріст деформації розтягнутого армування, тоді як приріст деформацій стиснутого бетону є значно менший.

Отже рівень навантаження при якому виконується пошкодження впливає на залишкову несучу здатність залізобетонних балок. При збільшенні рівня навантаження, при якому зразки отримують пошкодження, їх несуча здатність наближається до значень непошкоджених зразків.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі даних наведених вище можна зробити наступні висновки:

- зразки, які отримали пошкодження за певного рівня навантаження руйнуються крихко, з розламуванням на дві частини, на відміну від зразків з еквівалентним діаметром арматури;

- зменшення несучої здатності контрольних зразків 2-ї серії в порівнянні з зразками 1-ї серії становить 37%, що відповідає зменшенню діаметру робочого армування;

- несуча здатність зразків з пошкодженнями, які отримані за рівня навантаження є нижча від контрольних зразків на 11% тоді як площа поперечного перерізу зменшилась на 35%;

- при наявності рівня навантаження, при якому зразки отримують пошкодження, їх

несуча здатність є ближчою до значень непошкоджених зразків;

- при аналізі деформацій балок з пошкодженнями, зафіксовано більший приріст деформації розтягнутого армування, тоді як приріст деформацій стиснутого бетону є значно менший.

Дослідження залізобетонних елементів з різними типами пошкоджень є актуальним питанням. Проведення випробувань з різними типами дефектів, при різному ступені початкового навантаження надасть практичні рекомендації щодо діагностики їх несучої здатності.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Перекрестов В.А.** Расчет долговечности конструкционных элементов при воздействии рабочих сред: автореф. дис... канд. техн. наук: 01.02.03. Саратов, 1985. 35 с.

2. **Fagerlund G. Trwalosc.** Konstrukcji betonowych. *Arkady*. Warszawa. 1997. 95 p.
3. **Hordijk D.A., de Moel J.A., Schupack M.** Corroded unboded tendons in a high-rise building: from risk management to maintenance issue. *Challenges for concrete in the next millennium*. Rotterdam. 1998. Vol (2). P.803-806.
4. **Коломоцький А.С., Толстой А.Д., Лесовик В.С., Бабушкин В.И.** Влияние сульфида железа на стойкость бетона к коррозии третьего вида. *Бетон и железобетон*. №10. 1990. С. 41-42.
5. **Ho Choi, Yasushi Sanada†, Hisatoshi Kashiwa, Yasuhiro Watanabe, Jafril Tanjung, Huanjun Jiang.** Seismic response estimation method for earthquake-damaged RC buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2016. (45). P.999-1018 p.
6. **Maeck, Johan, and Guido De Roeck.** Damage assessment of a gradually damaged RC beam using dynamic system identification. *Proceedings of the 20th International Modal Analysis Conference*. Los Angeles. California. 2002. 5p.
7. **Kos Ž., Gotal Dmitrović L., Klimenko E.** Developing a model of a strain (deformation) of a damaged reinforced 150 concrete pillar in relation to a linear load capacity. *Tehnički glasnik - technical journal. Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Sreber. Scientific professional journal of University Nort*. Volume 11 Number 4 Varaždin. 2017. P. 150–154.
8. **Ashokkumar, Kanchanadevi & K, Ramanjaneyulu.** Nonlinear FEA for ultimate strength behavior of Corrosion damaged RC Beam. *Journal of Structural Engineering*, India. 2013. (40). 12-20 p.
9. **German, Magdalena & Pamin, Jerzy.** Numerical model of RC beam response to corrosion. *AIP Conference Proceedings*. 2018. 6p.
10. **Isgor, O.** Modeling corrosion of steel in concrete. *Woodhead Publishing, Elsevier*. 2016. 249-267 p.
11. **Kaczorowski A., Kalisz H.** Stosowanie betonów natryskowych w robotach remontowych. *Inżynieria i Budownictwo*. (6). 1993. P.222-224.
12. **Michalowska M.** Łączenie starego betonu z nowym za pomocą epoksydowej warstwy szepnej w elementach malowymiarowych. *Prace Instytutu Badawczego Dróg i Mostów*. (1). 2001. P.1-45.
13. **Szulborski K., Pyrak S., Młotkowski T.** Wzmocnienie człzwigarów żelbetowych uszkodzonych wskutek korozji. *Inżynieria i Budownictwo*. 7-8. 1995. P.375-377.
14. **Prem, Prabhat & Murthy, A & Gopal, Ramesh & Bharatkumar, B & Iyer, Nagesh.** Flexural Behaviour of Damaged RC Beams Strengthened with Ultra High Performance Concrete. *Indian Concrete Journal*. 89. 2014. P. 2057-2069.
15. **Neeladharan, C.** Repair and Strengthening of a Damaged RC Beam using Carbon FRP sheets. *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology* (5). 2018. P.66-69
16. **Balakrishna MN, Fouad Mohammad, Robert Evans, Rahman MM.** Damage assessment of reinforced concrete beams for differential degree of corrosion. *Discovery*. 54 (268). 2018 P. 147-156
17. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови: ДСТУ 3760:2006 [чинний від 2006-12-11]. – Київ: Інститут чорної і металургії НАН України, 2006. – 28 с. – (Національний стандарт України).
18. **Турчин Б. Р., Бліхарський З. З., Вегера П. І., Шналь Т. М.** Методика досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями отриманими за дії навантаження. *Вісн. Нац. Ун-ту "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва*. 2017. № 877. С. 213–218.
19. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 71 с. – (Буд. норми України).
20. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. - [Чинний від 2011-06-01]. - Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – V, 118 с. - (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. **Perekrestikov V.A., 1985.** Raschet dolhovechnosty konstruktsyonnykh elementov pry vozdeistvyy rabochykh sred. *Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 01.02.03*. Saratov, 35 p. (in Russian).
2. **Fagerlund G. Trwalosc, 1997.** Konstrukcji betonowych. *Arkady*. Warszawa. 95 p.
3. **Hordijk D.A., de Moel J.A., Schupack M., 1998.** Corroded unboded tendons in a high-rise building: from risk management to

- maintenance issue. *Challenges for concrete in the next millennium*. Rotterdam. Vol (2). P.803-806.
4. **Kolomoickoy A.S., Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Babushkin V.I., 1990.** Vliyanye sulfyda zheleza na stoikost betona k korrozii treteho vyda. *Beton y zhelezobeton*. №10. P. 41-42 (in Russian).
 5. **Ho Choi, Yasushi Sanada†, Hisatoshi Kashiwa, Yasuhiro Watanabe, Jafril Tanjung, Huanjun Jiang, 2016.** Seismic response estimation method for earthquake-damaged RC buildings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, (45). P.999-1018 p.
 6. **Maeck, Johan, and Guido De Roeck, 2002** Damage assessment of a gradually damaged RC beam using dynamic system identification. *Proceedings of the 20th International Modal Analysis Conference*. Los Angeles. California. 5p.
 7. **Kos Ž., Gotal Dmitrović L., Klimenko E., 2017.** Developing a model of a strain (deformation) of a damaged reinforced 150 concrete pillar in relation to a linear load capacity. *Tehnički glasnik - technical journal. Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Sjeever. Scientific professional journal of University Nort*. Volume 11 Number 4 Varaždin. P.150–154.
 8. **Ashokkumar, Kanchanadevi & K, Ramanjaneyulu, 2013.** Nonlinear FEA for ultimate strength behavior of Corrosion damaged RC Beam. *Journal of Structural Engineering*, India. (40). 12-20 p.
 9. **German, Magdalena & Pamin, Jerzy, 2018.** Numerical model of RC beam response to corrosion. *AIP Conference Proceedings*. 6p.
 10. **Igor, O., 2016.** Modeling corrosion of steel in concrete. *Woodhead Publishing, Elsevier*. P.249-267 p.
 11. **Kaczorowski A., Kalisz H., 1993.** Stosowanie betonów natrykowych w robotach remontowych. *Inżynieria i Budownictwo*. (6). P.222-224.
 12. **Michalowska M., 2001.** Łączenie starego betonu z nowym za pomocą epoksydowej warstwy szczipnej w elementach małowymiarowych. *Prace Instytutu Badawczego Dróg i Mostów*. (1). P.1-45.
 13. **Szulborski K., Pyrak S., Młotkowski T., 1995.** Wzmocnienie cłżwigarów żelbetowych uszkodzonych wskutek korozji. *Inżynieria i Budownictwo*. 7-8. P.375-377.
 14. **Prem, Prabhat & Murthy, A & Gopal, Ramesh & Bharatkumar, B & Iyer, Nagesh, 2014.** Flexural Behaviour of Damaged RC Beams Strengthened with Ultra High Performance Concrete. *Indian Concrete Journal*. 89. P. 2057-2069.
 15. **Neeladharan, C., 2018.** Repair and Strengthening of a Damaged RC Beam using Carbon FRP sheets. *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology* (5). P.66-69
 16. **Balakrishna MN, Fouad Mohammad, Robert Evans, Rahman MM., 2018.** Damage assessment of reinforced concrete beams for differential degree of corrosion. *Discovery*. 54(268). P. 147-156.
 17. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruksii. Zahalni tekhnichni umovy: DSTU 3760:2006 from 11th december 2006. K.: Instytut chornoj metalurhii NAN Ukrainy, 2006. 28 s. (Natsionalnyi stan-dart Ukrainy) (in Ukrainian).
 18. **Turchin, B.R., Bliarskii, Z.Z., Vejera, P.I. & Shnal T.M., 2017.** Research methodology of reinforced beams with damages under the action of a load. *Her. of Lviv Polytechnic National University*. № 877. P. 213–218 (in Ukrainian)..
 19. Structures of buildings end facilities. Concrete and reinforced concrete structures. General specifications: DBN V.2.6-98:2009 from 1t June 2011. K.: (Building Norms of Ukraine) (in Ukrainian).
 20. Structures of buildings end facilities. Concrete and reinforced concrete structures with heavy weight. Design rules. (2011). DSTU B.V.2.6-156:2010 from 1t June 2011. K.: (National Standard of Ukraine) (in Ukrainian).

Researching of reinforced concrete beams with damaged tensile rebar under the loading

Zinovyy Blikharskyy, Pavlo Vehera, Taras Shnal

Summary. There are defects in all reinforced concrete structures: initial (obtained during production) and operational (which arise during exploitation of the element). Operational defects arise under the influence of the environment, aggressive influences and mechanical factors. All of these damages occur under the influence of the load - starting from the weight of the structure and the above lying elements and to the design work in the exploitation stages. All defects, which arise at the action of any level of load, lead to change in the stress-strain state. Particular attention deserves investigation of damages of the tensile reinforcement in bending reinforced concrete elements. Therefore, the purpose of this article is to determine the impact on the strength of

reinforced concrete bending elements damages of tensile rebar obtained under the action of the loading. To achieve researching purpose, six researching reinforced concrete beams were designed, which were divided into two series: four samples of first series and two samples of the second. All samples were identical geometric dimensions. Difference between samples consists in the diameter of the tensile rebar: the samples of the 1st series are reinforced with one rod 20 mm in diameter, class A500C, and samples of the second series - with one rod in diameter of 16 mm in the class A500C. The corrosion of the reinforcement was simulated by drilling a hole in the middle of the sample with a diameter of 5.6 mm. This diameter of the hole corresponds to the corrosion of the cross-section of the rebar with a diameter of 20 mm to a diameter of 16 mm. Damages was carried out at the initial load level of 0.7 from the bearing capacity of the control samples. Exhaustion of the bearing capacity of control samples was achieved due to the achievement of the limiting deformations with the

compressed concrete zone, and for samples of the second series also the onset of yield in the tensile rebar. Damaged samples of the 2nd series were destroyed due to the rupture of tensile reinforcement and the fracture of the sample into two parts. At that time, the limiting deformations in the compressed concrete zone were not achieved. According to the results of the research, it was found that with a decrease in the cross-sectional area of the reinforcement by 35%, due to damage to the stretched armature with an aperture of 5.6 mm in diameter, under the action of the load, the bearing capacity of damaged specimens decreased by 11%. Whereas samples with an equivalent diameter of the rebar to the diameter of the damaged sample showed a carrying capacity less than 37%, which approximately corresponds to a decrease in the cross-sectional area of the stretched reinforcement.

Key words. reinforced concrete beams, strength, damage