

М. М. Лободанов, П. І. Вегера, З. Я. Бліхарський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ВИДІВ ДЕФЕКТІВ ТА ПОШКОДЖЕНЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

© Лободанов М. М., Вегера П. І., Бліхарський З. Я., 2018

За сучасними економічними тенденціями необхідно змінювати призначення будівель та споруд. Це зазвичай призводить до зміни величини та характеру впливу корисного навантаження на будівельні конструкції, з необхідністю оцінювання технічного стану та заміною або підсиленням елементів. Важливе місце в обстеженні, реконструкції будівель і споруд належить визначенню залишкової несучої здатності елементів. Особливо це стосується залізобетонних елементів, які поширені в Україні. Важливим аспектом визначення залишкової несучої здатності згинаних залізобетонних елементів є дослідження впливу дефектів і пошкоджень на зміну міцності та деформативності елемента. Оскільки залізобетон є складним композитним матеріалом, визначення впливу і прогнозування дії на нього різних видів дефектів і пошкоджень є складним завданням. Переважно це стосується комбінації різних дефектів і пошкоджень, яка підвищує варіативність дії різних внутрішніх і зовнішніх факторів під час розрахунку і формування методології визначення їх впливу. Досліджено вплив дефектів і пошкоджень на залишкову несучу здатність пошкоджених залізобетонних елементів з акцентуацією на згинані залізобетонні елементи. Розглянуто дію різних видів дефектів і пошкоджень та їхніх певних комбінацій, які призводять до зміни характеристик міцності та деформативності елемента, і можливої зміни роботи елемента.

Ключові слова: згинані залізобетонні елементи, залізобетонна балка, пошкодження, дефекти, несуча здатність.

M. Lobodanov, P. Vegera, Z. Blikharskyy
Lviv Polytechnic National University,
Department of building construction and bridges

ANALYSIS OF INFLUENCE OF MAIN TYPES OF DEFECTS AND DAMAGE ON THE BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

© Lobodanov M., Vegera P., Blikharskyy Z., 2018

In nowadays economic trends, there is a need in changes in the usage of buildings and structures. This usually leads to the changes loading and character of the loadings type on the building structures, with the subsequent need to assess the technical condition and the replacement or enhancement of certain elements. Also, objects, which need the reconstruction in order to be reequipped or changed it functionality, that have designs which were used under the influence of an aggressive environment or other factors which were not taken into account. This increases the difficulty of the rating of the technical condition of individual constructions and further reconstruction. An important place in the possibility of reconstruction of buildings and structures is determining to the residual bearing capacity of the elements. This is especially true for reinforced concrete elements widely used on the territory of Ukraine. An important aspect of determining the residual ability of bending reinforced concrete elements is

the study of the effect of defects and damage on the changes in strength and deformation ability of the element. As reinforced concrete is a complex composite material, the determining of impact and predicting the effects on it of various types of defects and damage is a rather difficult task. This mainly concerns the combination of various defects and damage, which increases the variability of the various internal and external factors in the calculation and further formation of the methodology of determining the impact. Therefore, this issue is not completely solved and requires further researching. In the article, the researches of influence of defects and damages on residual bearing ability of damaged reinforced concrete elements with accentuation on bending reinforced concrete beams are analyzed. The main types of defects of reinforced concrete beams are the corrosion of the reinforcement, the reduced cross-sectional area, defects obtained in the manufacture, transportation and operation of structures. With consideration of the action of various types of defects and damage and their certain combinations, which lead to changes in the characteristics of the strength and deformability of the element, and the possible change in the operation of the element.

Key words: bending elements, reinforced concrete beam, damages, defects, bearing capacity.

Вступ. Значну кількість будівель і споруд зведено із залізобетонних конструкцій. Частина з них експлуатується в пошкодженому стані. Дефекти і пошкодження виникають на різних етапах, наприклад, внаслідок виготовлення елемента з неточним розміщенням внутрішнього армування, що призводить до зміни напружено-деформованого стану елемента, який відрізняється від проектного рішення; пошкодження елемента під час транспортування та монтажу: механічне сколювання захисного шару або неактивні пошкодження; використання елемента, не відповідного до проектного призначення, або значні зміни навантажень на елемент. Особливим випадком є дія агресивного середовища та інші; пошкодження елемента за стихійних природних явищ (зсуви, землетруси тощо); пошкодження елемента під час вибухів та ударних впливів. Усі ці фактори призводять до необхідності визначення залишкової несучої здатності пошкодженого елемента для визначення їх реальної несучої здатності і подальшого розроблення проекту реконструкції.

Сьогодні визначають несучу здатність пошкоджених елементів, розраховуючи еквівалентний елемент згідно з чинними нормами [1], хоча отримані дефекти суттєво впливають на напружено-деформований стан елемента.

Мета дослідження полягає в аналізі існуючих досліджень впливу пошкоджень і дефектів залізобетонних елементів на їх міцність та деформативність.

Огляд наукових джерел і публікацій. Питання класифікації пошкоджень залізобетонних конструкцій розкривається в нормах і дослідницьких наукових роботах у різних країнах. Так, однією із таких є ухвалена технічним комітетом DCC-104 PIJEM (Міжнародної спілки експертів та лабораторій з випробування будівельних матеріалів, систем і конструкцій), починаючи з 1991 р., де наведено класифікацію пошкоджень у бетонних конструкціях [2] за три роки, на які посилаються автори в роботі [3] (рис. 1).

Під час розгляду питання залишкової несучої здатності згинаних залізобетонних елементів при пошкодженні важливого значення набуває класифікація пошкоджень і дефектів. За нею найпоширенішими зі втратою захисного шару згідно з [4, 5] є: сколювання захисного шару бетону (відбувається у разі механічного пошкодження під час перевезення та експлуатації, корозії арматури, вогневих впливів) і відшарування лещаток бетону (відбувається під час вогневих впливів, тиску новоутворень (солей, льоду), замокання у разі порушення правил експлуатації).

У дослідженні питання впливу пошкоджень на міцність та декоративність згинаних залізобетонних елементів автор [6] акцентує увагу на неврахуванні в чинних нормах [1, 7, 8] можливості визначення залишкової несучої здатності, що спричиняє необхідність у формуванні проблем реалізації, пропозицій стосовно рішення, використання наявних напрацювань, реалізації рішень, формування кінцевого розрахунку і методології.



Рис. 1. Класифікація основних пошкоджень і дефектів будівельних конструкцій [3]

Основними проблемами реалізації методики визначення залишкової несучої здатності [6] є:

- утворення часткового руйнування, оскільки фронт руйнування відбувається не паралельно до осей симетрії, а переходом від плоского згину до косоного;
- виникнення складного напружено-деформованого стану, яке призводить до розрахунку за спрощеною схемою, основою на зведенні до плоского згину в різних площинах;
- необхідні експериментальні та теоретичні дослідження пошкоджених елементів, що працюють на згин і розроблення експериментально перевіреної методики розрахунку міцності цих елементів.

Пропозиції до рішення і напрацювання для вирішення:

- проведення експериментальних досліджень і розроблення методики розрахунку елементів залізобетонних конструкцій, що працюють на косий згин, впровадження в теорію розрахунків міцності залізобетонних елементів нелінійної деформаційної моделі з використанням повних діаграм деформування бетону та арматури;
- впровадження спрощеної деформаційної моделі без втрати точності розрахунків, для їх практичного застосування інженерами і науковцями;
- з використанням методики О. В. Степова [9] можна отримати необхідні для розрахунку параметри неруйнівним методом при обстеженні конструкції і в процесі експлуатації і прогнозувати втрату площі перерізу арматури в тріщині в конкретному режимі експлуатації;
- аналіз числових значень деформацій повзучості, що дає змогу зробити висновок: швидко наростаючі деформації можуть становити значну частку деформацій повзучості;
- використання розрахунку без ітераційних методів спрощує методику визначення міцності залізобетонних елементів, що працюють на косий вигин. Це питання розглянуто в праці А. М. Павлікова, О. В. Бойка [10].

У дослідженні [6] змодельовано напружено-деформований стан балкових залізобетонних елементів за допомогою ПК “Ліра 9.6”, на основі ізополів, з використанням кусково-лінійної залежності, яку можливо застосувати для будь-якого матеріалу – як основного, так і додаткового. Як зазначає автор, послідовним аналізом ізополів напружень у матеріалах реальної конструкції можна достовірно оцінити вплив конструктивних чинників на несучу здатність, передбачити характер подальшого деформування і фізичного руйнування.

Залишкову несучу здатність пошкоджених згинаних залізобетонних елементів визначали на балках таврового профілю в роботі [11]. Проаналізовано можливість реалізації різних типів пошкодження в ролі факторів варіювання під час моделювання в ПК "Ліра 9.4":

- пошкоджена частина полки, виражена відношенням (b_{eff1}/b_{eff2}), де b_{eff1} – величина пошкодження; b_{eff2} – величина звисів полиці;
- глибина пошкодження a_1 , виражена через відношення глибини ушкодження полки до товщини полки (a_1 / h_{f1});
- кут пошкодження β , виражений через відношення кута ушкодження до кута нахилу полки, що дорівнює 90° .

З'ясовано, що моделювання пошкоджень згинаних залізобетонних елементів у програмних комплексах на основі методу скінченних елементів є шляхом до визначення залишкової несучої здатності, але це доволі трудомісткий процес.

У роботі [12] розглянуто вплив факторів пошкодження таврових балок на величину їх руйнівного навантаження. В процесі оброблення отриманих експериментальних даних за методикою [13], з видаленням незначущих коефіцієнтів рівнянь регресії, отримано адекватну математичну модель, що володіє достатньою інформаційною корисністю і за якою можна оцінити вплив досліджуваних факторів на вихідні параметри балок, геометричну інтерпретацію яких наведено на рис. 2, 3, де F_{ULS} – зовнішнє навантаження, за якого руйнується балка.

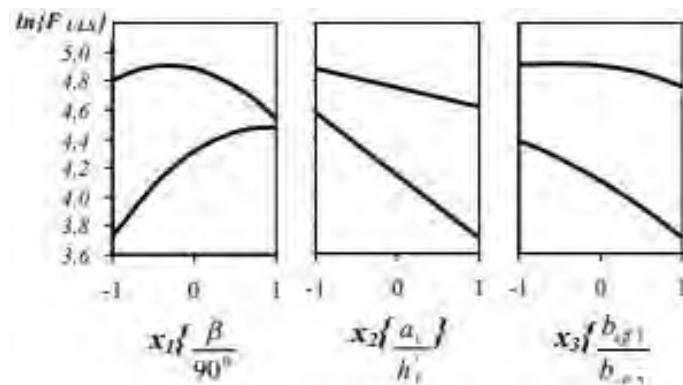


Рис. 2. Однофакторні залежності впливу варійованих факторів на показник міцності балок [12]

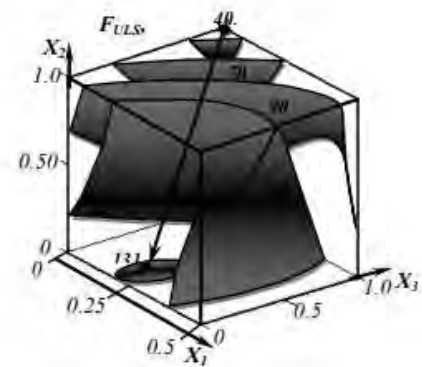


Рис. 3. Графік спільного впливу варійованих факторів на руйнівне навантаження балок [12]

Значення факторів варіювання на рис. 2 наведено в абсолютних величинах. Як результат у роботі зазначено, що фактором, який найбільше впливає на несучу здатність балок, є глибина пошкодження, що також підтверджено на рис. 3, де залежність між зміною глибини пошкодження і руйнівним навантаженням лінійна.

Найпоширенішим дефектом є корозія арматури. В результаті корозії її об'єм збільшується, що призводить до порушення цілісності захисного шару (рис. 4) [14]. Процес перебігає у прихованій формі і призводить до зменшення несучої здатності. В залізобетонних конструкціях найчастіше стикаємося з електрохімічною корозією. В умовах експлуатації більшості конструкцій між двома металами, які перебувають у контакті, виникає електрична взаємодія. У багатьох випадках маловуглецева сталь є анодом відносно низьколегованої. Зауважимо, що сама маловуглецева сталь має неоднорідну структуру, що може бути фактором, який сприяє корозії.

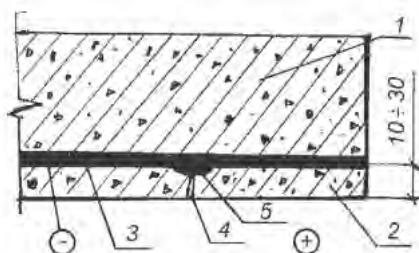


Рис.4. Початок корозії арматури: 1 – балка; 2 – захисний шар; 3 – арматура; 4 – тріщина; 5 – ділянка корозії [14]

Швидкість корозії залежить від таких факторів, що пов'язані з кількістю кисню та проникністю бетону:

- контакт зі сталлю та іонопроникність водної фази бетону, яка залежить від складу та кількості води в бетоні;
- наявність анодних та катодних ділянок на металі, що спостерігається при оголенні будь-якої частини арматури;
- присутність кисню, який сприяє реакціям.

Потенціально причиною корозії може бути наявність хлоридів у пористому бетоні. Корозія арматури призводить до зменшення площі її перерізу і у результаті – зменшення несучої здатності елемента конструкції, споруди.

Вплив дії агресивного середовища на згинані залізобетонні елементи за робочою шириною розглянуто в праці [15], де зазначено такі аспекти впливу:

- Руйнування залізобетонних балок у середовищі сірчаної кислоти відбувається внаслідок корозії бетону і на деяких зразках в поєднанні з корозією арматури. Корозію бетону спричиняють хімічні реакції кислоти зі складниками цементного каменю, які містять кальцій. При цьому корозія відбувається поступово від зовнішніх шарів бетону вглиб експериментальних зразків з утворенням контактного шару.

- Корозійні процеси призводять до зменшення розмірів поперечного перерізу балок у часі за лінійною залежністю. Зменшення площі перерізу стиснутого бетону, як і робочої висоти перерізу загалом, збільшує напруження в бетоні й арматурі. Руйнування балок відбувається за досягнення напружень в арматурі межі текучості з подальшим роздробленням бетону стиснутої зони. В окремих випадках руйнування відбувається за похилим перерізом внаслідок поступової корозії фактично усіх поперечних стрижнів.

- Методика норм [16] в усіх випадках під час розрахунку згинаних залізобетонних елементів з корозійними пошкодженнями за тривалої одночасної дії агресивного середовища і навантаження не дає змоги з необхідною точністю визначити несучу здатність таких елементів. Розбіжності між теоретичними і фактичними величинами становлять до 13,7 % у бік перевищення теоретичних величин порівняно з експериментальними. Це пояснюється впливом корозійних мікротріщин як концентраторів напружень у стиснутому бетоні і, як наслідок, зменшення міцності бетону за наявності корозійних процесів та тривалої дії навантаження;

- Розбіжність між експериментальними та розрахунковими величинами прогинів за текучістю арматури M_u^{exp} становить до 14,5 %. Для більшості балок розрахункові величини перевищували експериментальні. За експлуатаційного рівня навантажень $0,7 M_u^{exp}$ розбіжність експериментальних та теоретичних прогинів становить до 20 %. При цьому для більшості балок експериментальні величини перевищували розрахункові.

Вплив локальної дії агресивного середовища на згинані залізобетонні елементи за робочою шириною розглянуто в праці [17]. На відміну від праці [15], дія агресивного середовища відбувалась у стиснутій зоні елемента. Слід зазначити, що розбіжність між теоретичними і фактичними величинами несучої здатності становила до 11,2 % у бік перевищення теоретичних величин експериментальних згідно з нормами [16].

Під біологічною корозією розуміють процеси ушкодження бетону [18], спричинені продуктами життєдіяльності живих організмів (бактерії, гриби, мохи, лишайники і мікроорганізми), що поселяються на поверхні будівельних конструкцій. Бактерії, гриби, водорості здатні розвиватися на конструкціях з бетону і проникати в капілярно-пористу структуру матеріалу. Продукти їх метаболізму (органічні кислоти і луги) руйнують компоненти цементного каменю (особливо в умовах високої вологості).

Після дослідження впливу біокорозії на міцність та тріщиностійкість матеріалів дійшли висновку, що міцність бетону, який був підданий тривалій дії різних видів бактерій, зменшується на 30–50 % (рис. 5).

Автори [19] досліджували вплив дефектів залізобетонних конструкцій при виготовленні зі зміщенням армування і сколюванням бетону в згинаних балках прямокутного перерізу з утворенням крутного моменту. За дії крутного моменту в згинаних залізобетонних елементах

можливе утворення просторових спіралеподібних тріщин від самого крутного моменту і значне зниження тріщиностійкості за нормальними і похилими перерізами в 4,7 разу.

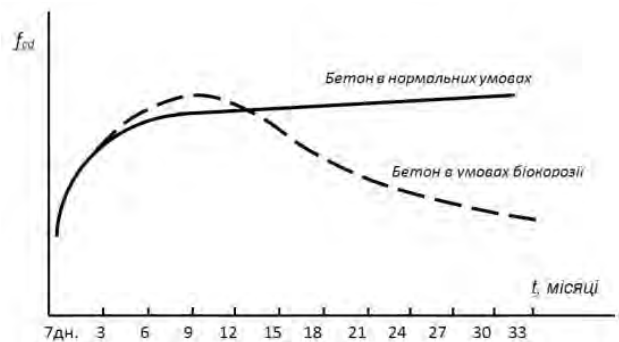


Рис. 5. Залежність міцності бетону на тиск від часу дії біокорозії [18]

менти [20], які спричиняють косий згин. У такому випадку змінюються робота, характер напружено-деформованого стану, міцності та деформативності згинаного елемента в результаті пошкодження або дефекту елемента. Різні фактори, що спричиняють косий згин, можна поділити на ендогенні та екзогенні [20]. Внаслідок дії ендогенних факторів найпоширенішим результатом є зміна геометричних характеристик нормального перерізу елемента залізобетонної балки – зміщення положення центру ваги та повороту головних осей інерції. Унаслідок цього лінія дії силової площини не збігається з головною віссю інерції, яка змінила своє положення, а отже, виникає косий згин.

Висновки. Досліджуючи несучу здатність залізобетонних елементів у разі пошкодження, можна зробити висновок, що ця проблема потребує подальших експериментальних і теоретичних досліджень. Особливо актуальним є вивчення впливу пошкоджень згинаних залізобетонних елементів, отриманих за дії навантаження, оскільки в чинних нормах [1] не до кінця розкрито таку можливість. Також слід зазначити, що в таких дослідженнях дуже важливе моделювання пошкоджень методом скінченних елементів [6, 11].

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с. – (Національний стандарт України). 2. RILEM TECHNICAL COMMITTEES: Damage classification of concrete structures. The state of the art report of RILEM Technical Committee 104-DCC activity, Materials and Structures / Matg'riaux et Constructions, 1991, pp. 24, 253–259. 3. Клименко С. В. До питання вивчення роботи стиснутих пошкоджених залізобетонних елементів круглого перерізу / С. В. Клименко, М. Орешкович // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Теорія і практика будівництва”. – 2013. – № 755. – С. 173–178. 4. Мальганов А. И., Плевков В. С., Полищук А. И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей. – Томск: Том. ун-т, 1990. – 456 с. 5. Воскобійник О. П. Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій / О. П. Воскобійник // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Теорія і практика будівництва”. – 2010. – № 662. – С. 97–103. 6. Клименко С. В. Влияние поврежденности на прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов / С. В. Клименко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 51. – С. 175–180. 6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування: ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 97 с. – (Національний стандарт України). 7. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – [Чинні від 1997-11-27] – К.: Держ. комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України, 1997. – 145 с. 8. Техническая диагностика. Термины и определения. ГОСТ 20911-89. –

[Чинний від 1991-01-01]. – М.: ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартами. – 1989. – 132 с. 9. Степова О. В. Методика розрахунку втрати площі перерізу при корозії арматури в нормальній тріщині балкових залізобетонних конструкцій / О. В. Степова // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне, 2011. Вип. 21. – С. 346–352. 10. Павліков А. М., Бойко, О. В. Визначення кута нахилу нейтральної лінії в перерізах косозігнутих залізобетонних елементів з урахуванням нелінійних властивостей бетону на основі діаграм його стану / А. М. Павліков, О. В. Бойко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне, 2011. – Вип. 21. – С. 264–269. 11. Клименко Е. В. Остаточная несущая способность поврежденных железобетонных балок таврового профиля / Е. В. Клименко, Е. С. Чернева, Н. Д. Король, Мохаммед Исмаел Арез, И. В. Антонишина // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – Вип. 54. – С. 159–163. 12. Клименко Є. В., Чернева О. С., Довгань О. Д., Арез Мохаммед Ісмаел Вплив факторів пошкоджених таврових балок на величину їх руйнівного навантаження / Міжвузівський збірник “НАУКОВІ НОТАТКИ”. Луцьк – 2013 – № 43. – С. 94–97. 13. Вознесенский В. А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – 2-е изд., испр. и доп. – М: Финансы и статистика, 1981. – 215 с. 14. Глагола І. І., Лучко Й. Й., Ковчик С.Є. До питання корозії бетону і залізобетону та їх захисту // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. “Теорія і практика будівництва”. – 2002. – № 441. – С. 34–39. 15. Хміль Р. Є. Напружено-деформований стан залізобетонних балок, пошкоджених агресивним середовищем / Р. Є. Хміль, Р. В. Вашкевич, З. Я. Бліхарський // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2009. – № 655: Теорія і практика будівництва. – С. 278–285. 16. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 17. З. Я. Бліхарський, Р. Є. Хміль, Р. В. Вашкевич, Я. З. Бліхарський Напружено-деформований стан залізобетонних балок з місцевими корозійними пошкодженнями / Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2011. – № 697: Теорія і практика будівництва. – С. 36–41. 18. Журавська Н. Є. До питання біопошкодження бетону та залізобетону / Н. Є. Журавська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2014. – Вип. 28. – С. 180–186. 19. Петров О. М. Тріщиноутворення та характер руйнування залізобетонних елементів при згині з крученням / О. М. Петров // Будівельні конструкції. – 2015. – Вип. 82. – С. 507–518. 20. Воскобійник, О. П. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин / О. П. Воскобійник, О. О. Кітаєв, Я. В. Макаренко, Є. С. Бугаєнко / Збірник наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1(29). – С. 87–92.

References

1. Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia [Construction of houses and buildings. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions of the]. (2011). DBN V.2.6-98:2009 from 1th July 2011. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].
2. RILEM TECHNICAL COMMITTEES: Damage classification of concrete structures. The state of the art report of RILEM Technical Committee 104-DCC activity, Materials and Structures (1991). Matg'riaux et Constructions. pp. 24, 253–259.
3. Klymenko E. V. Oreshkovich M. (2013). Do pytannia vyvchennia roboty stysnutykh poshkodzhenykh zalizobetonnykh elementiv kruhloho pererizu [On the study of the work of compressed damaged reinforced concrete elements of round section]. Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”. The theory and practice of construction. No. 755. P. 173–178.
4. Malganov A. I., Plevkov V. S., Polischuk A. I. (1990). Vostanovlenye y usylenye stroytelnykh konstruksyi avaryinykh y rekonstruyruemykh zdaniy: atlas skhem y chertezhei [Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings: atlas of schemes and drawings] Volume. Unt. 456 pp.
5. Voskobinik O. P. (2010). Typolohichne porivniannia defektiv ta poshkodzhen zalizobetonnykh, metalevykh ta stalezalizobetonnykh balkovykh konstruksii [Typological comparison of defects and damages of reinforced concrete, metal and steel reinforced concrete structures]. Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”. The theory and practice of construction. No. 662. P. 97–103.
6. Klymenko E. V. (2012) Vlyianyie povrezhdennosti na prochnost y deformatyvnost yzghybaemykh

zhelezobetonnykh elementov [Influence of damage on the strength and deformability of bendable reinforced concrete elements]. Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Exp. 51. P. 175–180.

7. *Normatyvni dokumenty z pytan obstezhen, pasportyzatsii, bezpechnoi ta nadiinoi ekspluatatsii vyrobnychyykh budivel i sporud [Normative documents on issues of inspection, certification, safe and reliable operation of industrial buildings and structures]. (1997). Effective from 1997-11-27. State. committee of the building, archit. and the Housing Policy of Ukraine, Gosnadzoradzorohrantruda of Ukraine. 145 p.*

8. *Tekhnicheskaya dyahnostyka. Termyny y opredeleniya [Technical diagnostics. Terms and definitions]. (1989). GOST 20911-89. Effective from 01/01/1991. GK USSR on product quality management and standards. 132 p.*

9. *Stepova O. V. (2011) Metodyka rozrakhunku vtraty ploshchi pererizu pry korozii armatury v normalnii trishchyni balkovykh zalizobetonnykh konstruksii [Method of calculation of sectional area loss due to corrosion of reinforcement in normal cracking of beam reinforced concrete constructions]. Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: sciences Ave. Vol. 21. P. 346–352.*

10. *Pavlikov A. M., Boyko O. V. (2011) Vyznachennia kuta nakhylyu neitralnoi linii v pererizakh kosozihnutykh zalizobetonnykh elementiv z urakhuvanniam neliniinykh vlastyvoستي betonu na osnovi diahram yoho stanu [Determination of the inclination angle of the neutral line in the cross sections of oblique concrete concrete elements, taking into account the nonlinear properties of concrete on the basis of diagrams of its state]. Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: Sb. sciences Ave. Vol. 21. S. 264–269.*

11. *Klymenko E. V., Cherneva E. S., Korol N. D., Ismael Aerez M. M., Antonyshina I. V. (2014) Ostatochnaia nesushchaia sposobnost povrezhdennykh zhelezobetonnykh balok tavrovoho profylya [Residual bearing capacity of damaged reinforced concrete beams of the tread profile] Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Vol. 54. P. 159–163.*

12. *Klymenko E. V., Cherneva O. S., Dovgan O. D., Aries Mohammed Ismael. (2013) Vplyv faktoriv poshkodzhennykh tavrovyykh balok na velychynu yikh ruiniivnoho navantazhennia [Influence of the factors of damaged taurian beams on the magnitude of their destructive load]. Intercollegiate collection “SCIENTIFIC NOTES”. No. 43. P. 94–97.*

13. *Voznesensky V. A. (1981). Statycheskiye metody planirovaniya eksperymenta v tekhniko-ekonomycheskykh yssledovaniyakh [Static methods of experiment planning in technical and economic research]. 2nd ed. M.: Finance and Statistics. 215 p.*

14. *Verb I. I., Luchko Y. Y., Kovchuk S. E. (2002). Do pytannia korozii betonu i zalizobetonu ta yikh zakhystu [To the issue of corrosion of concrete and reinforced concrete and their protection]. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. The theory and practice of construction. No. 441. P. 34–39*

15. *Khmil R. E., Vashkevych R. V., Blicharsky Z. Ya. (2009). Napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnykh balok z mistsevymy koroziiinymy poshkodzhenniamy [Strained-deformed state of reinforced concrete beams damaged by aggressive environment]. Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic” The theory and practice of construction No. 655. P. 278–285.*

16. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii [Concrete and reinforced concrete structures]. (1986). SNiP 2.03.01-84* Repealed from 1th June 2011. M.: State standard [in Russian].*

17. *Bliharsky Z. Ya., Khmil R. E., Vashkevich R. V., Bliharsky Ya. Z. (2011). Napruzhenno-deformovanyi stan zalizobetonnykh balok z mistsevymy koroziiinymy poshkodzhenniamy [The stress-strain state of reinforced concrete beams with local corrosion damage]. Bulletin of the National University “Lviv Polytechnic”. Theory and practice of construction. No. 697. P. 36–41.*

18. *Zhuravskaya N. E. (2014) Do pytannia bioposhkodzhennia betonu ta zalizobetonu [To the issue of biological damage to concrete and reinforced concrete]. Resource-saving materials, structures, buildings and structures. Vol. 28. P. 180–186.*

19. *Petrov O. M. (2015). Trishchynoutvorennia ta kharakter ruinuvannia zalizobetonnykh elementiv pry zghyni z kruchenniam [Cracking and the nature of the destruction of reinforced concrete elements with bending with torsion]. Building constructions. Vol. 82. P. 507–518.*

20. *Voskobinik, O. P., Kitayev O. O., Makarenko Ya. V., Bugaenko Ye. S. (2011). Eksperymentalni doslidzhennia zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhenniamy, yaki vyklykaiut kosyi zghyn [Experimental investigations of reinforced concrete beams with defects and damages that cause slanting bends]. Collection of sciences. works (branch machine-building, construction). Vip. 1 (29). pp. 87–92.*