

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування



БЛІХАРСЬКИЙ ЗІНОВІЙ ЗІНОВІЙОВИЧ

УДК 624.012.25

**МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З
ПОШКОДЖЕННЯМ АРМАТУРИ ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди
19 – Будівництво та архітектура

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Рівне – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Шналь Тарас Миколайович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
м. Львів, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Клименко Євгеній Володимирович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
м. Одеса, зав. кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд;

кандидат технічних наук, доцент
Андрійчук Олександр Валентинович,
Луцький національний технічний університет,
м. Луцьк, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії.

Захист відбудеться “15” жовтня 2019 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 47.104.06 в Національному університеті водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. Чорновола, 49, навч. корпус № 6, ауд. 673.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету водного господарства та природокористування за адресою: 33028, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75, навч. корпус № 2 або на сайті університету www.nuwm.edu.ua.

Автореферат розісланий “___” вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.М. Бордюженко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізобетонні конструкції найчастіше використовуються в якості несучих елементів будівель та споруд. Найбільш розповсюдженими є згинальні конструкції, які використовуються у вигляді балок, плит перекриття, ригелів каркасів, прогонів, тощо. Часто залізобетонні конструкції експлуатуються в агресивному середовищі. При цьому згідно прийнятої класифікації існує значна різноманітність середовищ, яка залежить від чинників, що викликають їх дію. Найбільш інтенсивним агресивне середовище є на виробництвах хімічної промисловості. При цьому залізобетон, як матеріал, є одним з найкращих для експлуатації в агресивних середовищах. Стальна арматура, яка є найбільш вразлива до корозії, надійно захищена захисним шаром бетону. У випадку підбору якісного складу бетону арматура є, відносно, не вразлива до корозії. Однак, значна кількість будівель та споруд експлуатується протягом десятиліть, часто без підбору якісного складу бетону та наявності антикорозійного захисту залізобетонних конструкцій. Як наслідок, відбувається корозійне або механічне пошкодження бетону залізобетонних конструкцій, а після пошкодження захисного шару бетону відбувається корозія арматури. Це викликає втрату несучої здатності та експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій. Без виконання заходів з підсилення та реконструкції може наступити аварійне обрушення будівлі чи окремих її конструктивних елементів.

У випадку хімічних виробництв за наявності агресивних речовин може виникнути не тільки техногенна, а і екологічна катастрофа із значними негативними наслідками.

Внаслідок корозії зменшується поперечний переріз арматури залізобетонних конструкцій і, як наслідок, відбувається зміна напружено-деформованого стану та зменшення експлуатаційних характеристик конструкцій. При цьому необхідно зауважити, що корозійні процеси відбуваються за дії навантаження і залізобетонні конструкції мають відповідний напружено-деформований стан. Це вносить особливості в протікання корозійних процесів, що пов'язано із наявними напруженнями як в бетоні так і арматурі, наявністю тріщин, тощо. В зв'язку з цим дослідження впливу пошкоджень, особливо арматури, на напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій з врахуванням дії навантаження є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає науковому напрямку інституту будівництва та інженерії доквілля та кафедри опору матеріалів і будівельної механіки Національного університету «Львівська політехніка», а також виконана згідно з тематиками держбюджетних тем «Розроблення методик визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних конструкцій, зміцнених новітніми матеріалами за дії навантаження» (№ державної реєстрації 0115U000436) та «Розроблення методики та технічних засобів для моніторингу напружено-деформованого стану гідротурбін з урахуванням експлуатації» (№ державної реєстрації 0117U004447).

Мета роботи. Експериментальне та теоретичне дослідження зміни параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури за дії навантаження різної інтенсивності.

Для вирішення поставленої мети необхідно реалізувати наступні **задачі досліджень**:

- вивчити існуючий стан досліджень впливу пошкоджень арматури на напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій;
- розробити програму та методику експериментальних досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження різної інтенсивності;
- виконати експериментальні дослідження впливу пошкоджень робочої арматури, отриманих за дії навантаження на параметри міцності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних балок;
- провести аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень;
- запропонувати методику розрахунку міцності та деформативності залізобетонних балок з пошкодженням арматури за дії навантаження.

Об'єкт дослідження – залізобетонні балки з пошкодженнями арматури.

Предмет дослідження – параметри напружено-деформованого стану залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження різної інтенсивності.

Методи дослідження – аналітичні дослідження наявних джерел за темою дисертації, експериментальні та теоретичні дослідження залізобетонних балок з пошкодженням робочої арматури за дії навантаження та їх порівняльний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримані нові результати експериментальних досліджень міцності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних балок з врахуванням впливу пошкоджень робочої арматури за дії навантаження;
- встановлено, що пошкодження робочої арматури зменшує в цілому несучу здатність залізобетонних балок, при цьому залізобетонні балки з робочою арматурою Ø20A500C, площа поперечного перерізу якої після пошкоджень відповідала площі стержнів Ø16, мають міцність на 3,7... 24,0% вищу, ніж аналогічні залізобетонні балки з робочою арматурою Ø16A500C;
- експериментально визначено, що рівень навантаження, при якому відбувається пошкодження робочої арматури, несуттєво впливає на кінцеву несучу здатність залізобетонних балок;
- експериментально встановлено, що термічно-зміцнена арматура A500C має неоднорідні фізико-механічні характеристики сталі в поперечному перерізі: вищі в зовнішньому термічно-зміцненому шарі і нижчі в серцевині, що в цілому впливає на кінцеві фізико-механічні властивості арматурних стержнів;
- визначено, що несуча здатність залізобетонних балок, залежить від заміни фізико-механічних характеристик робочої арматури в залежності від пошкодження термічно-зміцненого шару поперечного перерізу та серцевини;
- запропонована на базі деформаційної моделі методика розрахунку несучої здатності та деформативності залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у використанні отриманих результатів експериментально-теоретичних досліджень при визначенні параметрів напружено-деформованого стану залізобетонних балок з пошкодженнями

арматури, що дозволить прийняти ефективні методи з підсилення і відновлення їх несучої здатності та експлуатаційної придатності.

Впровадження результатів роботи. На основі експериментальних та теоретичних досліджень розроблено уточнення до розрахунку за деформаційною моделлю, що враховують початковий напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій, пошкоджених при дії навантаження. Це дає змогу імітувати реальну роботу конструкції під навантаженням при корозійних пошкодженнях робочої арматури. Результати роботи використані у держбюджетних науково-дослідних роботах, які виконувались в інституті будівництва та інженерії доквілля Національного університету "Львівська політехніка", проектними та виробничими підприємствами, а також у навчальному процесі кафедри «Будівельні конструкції та мости» Національного університету "Львівська політехніка" при викладанні дисципліни «Реконструкція будівель та споруд». Рекомендації з підсилення залізобетонних конструкцій будівель та споруд використані в курсовому, дипломному проектуванні і при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт, а також на реальних будівлях.

Особистий внесок здобувача:

- розроблення планування і методики експериментальних досліджень та проведення випробувань залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження;
- обробка та аналіз виконаних експериментальних досліджень;
- розроблення на базі деформаційної моделі методики визначення несучої здатності та деформативності залізобетонних балок з пошкодженням арматури із врахуванням дії навантаження;
- порівняльний аналіз отриманих експериментальних та теоретичних результатів.

Всі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (18-20 жовтня 2017, Полтава); на II-ій міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (16-17 листопада 2017, Одеса); на II-ій науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення, сучасні матеріали та конструкції» (24-25 травня 2018, м.Київ); на міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектури села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат» (15-17 травня 2019, Дубляни).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з них 5 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави (загалом 2 статті в науково-метричних базах даних), 3 тези доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 201 найменувань, 2 додатків. Робота викладена на 158 сторінках, які включають 129 сторінок основного тексту, 9 таблиць та 60 ілюстрацій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність, зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету й завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, впровадження та апробацію результатів роботи, її загальну характеристику.

В **першому розділі** виконано огляд досліджень залізобетонних згинальних конструкцій, аналіз експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних конструкцій, пропозиції щодо існуючих методів розрахунку за деформаційною моделлю, причини потреб у підсиленні та існуючі методи підсилення.

В процесі експлуатації значна кількість залізобетонних конструкцій зазнають впливу зовнішніх факторів та потребують з часом відновлення або підсилення. Багато факторів на це впливають, але в результаті залізобетонні конструкції зазнають пошкоджень, зокрема в робочих стержнях арматури і потребують детального розрахунку для оцінки дійсного технічного стану таких конструкцій.

Для залізобетонних згинальних конструкцій розроблено значну кількість рішень щодо відновлення та підсилення, методів розрахунку в процесі експлуатації, зокрема з пошкодженнями, опубліковано значну кількість досліджень, що виконали такі вчені – Азізов Т.Н., Андрійчук О.В., Бабич Є.М., Бамбура А.М., Байков В.М., Барашиков А.Я., Бондаренко С.В., Борисюк О.П., Вахненко П.Ф., Голишев А.Б., Дорофєєв В.С., Кривошеєв П.І., Клименко Є.В., Климбуш М.Д., Мальганова А.І., Попович Б.С., Савицький М.В., Семко О.В., Торяник В.В., Ткаченко І.М., Шмуклер В.С., Яровий С.М. та іншими вченими. За кордоном цим питанням займались – A. Duan, W. Jin, A. Michel, B. Pease, R. Brown, C. Cao, M. Cheung, C. Fu, D Coronelli, E. Kearsey, P. Emmons, J. McDonald, G. Al-Sulaimani, G. Malumbela та інші вчені.

Найчастіше причиною пошкоджень арматури є корозія, викликана впливом агресивного середовища. При цьому пошкодження відбувається за дії на конструкції навантаження різної інтенсивності – від власної ваги конструкцій, технологічного обладнання, рухомих механізмів, атмосферних впливів (сніг, вітер) тощо. Дія навантаження викликає появу тріщин в залізобетонних конструкціях, які відкривають арматуру для корозійних впливів. Крім цього, наявні напруження та деформації в бетоні та арматурі конструкцій пришвидшують корозійні процеси і сприяють поширенню пошкоджень. Після пошкодження залізобетонних конструкцій потребують підсилення та відновлення несучої здатності і експлуатаційної придатності конструкцій.

Для прийняття ефективного методу підсилення необхідно мати повну інформацію про напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій та вплив наявних пошкоджень, особливо арматури, з врахуванням дії навантаження, що досліджено не достатньо.

У **другому розділі** подано програму та методику експериментальних досліджень залізобетонних балок з пошкодженням робочої арматури при дії навантаження.

В загальному було виготовлено 16 залізобетонних балок розмірами 100 x 100 x 2000 мм, 9 бетонних призм 100x100x400 мм, 20 бетонних кубів 100x100x100 мм, 3 бетонних циліндри діаметром 100 мм і висотою 200 мм та 4 бетонних циліндра діаметром 150 мм і висотою 300 мм.

Конструкцію експериментальних балок, загальний вигляд стенду та схему розташування приладів наведено на рис. 1.

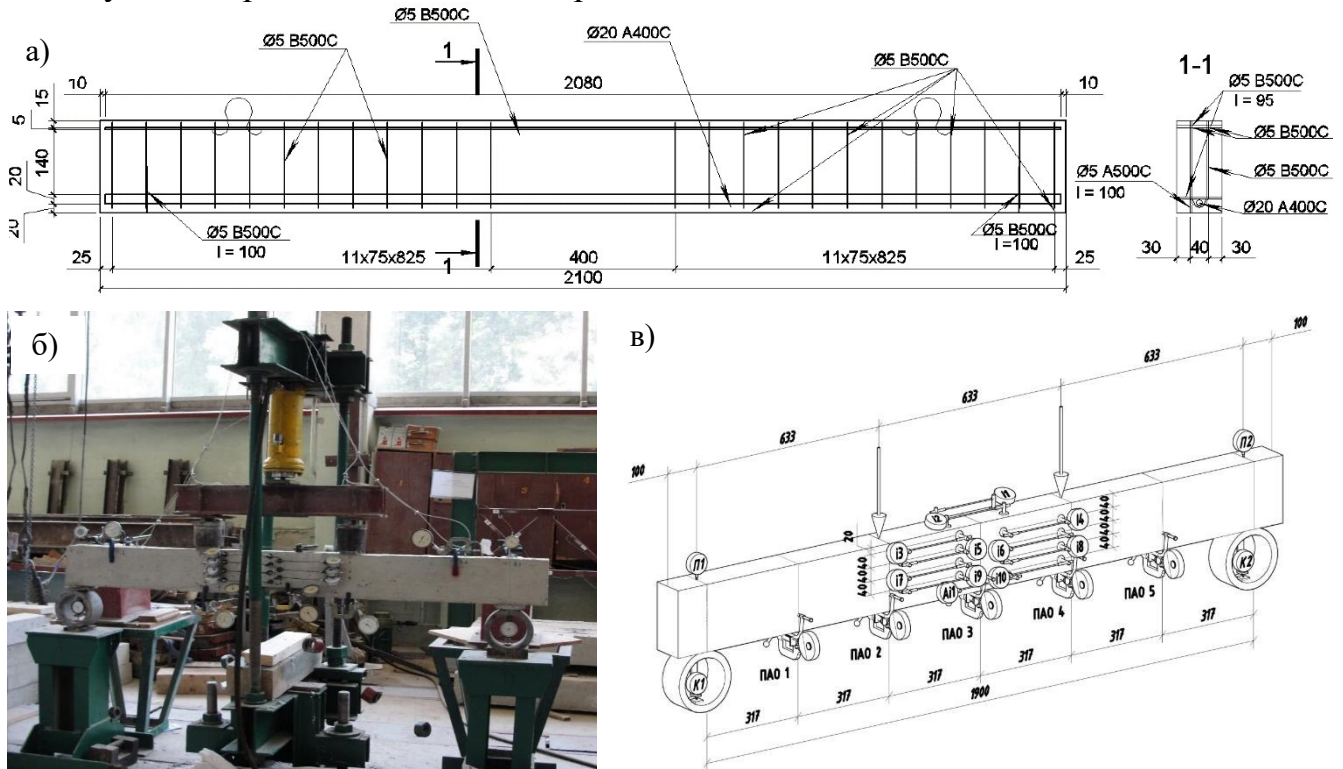


Рис. 1. Конструкція експериментальних балок I серії (а), загальний вигляд (б) та схема розташування приладів (в)

Залізобетонні балки випробовували шляхом поетапного навантаження двома зосередженими силами в третинах прольоту із зоною «чистого згину» посередині балки. Для вимірювання деформацій бетону, арматури та прогинів в залізобетонних балках використовували прилади механічної дії індикатори, мікроіндикатори, прогиноміри, закріплені в характерних місцях балок.

Залізобетонні балки були трьох серій – з діаметром робочої арматури Ø20A500C - 12 зразків, з діаметром арматури Ø16A500C- 2 зразки та з діаметром Ø22A500C- 2 зразки, в загальному 16 балок. Всі арматурні стержні робочої арматури були із термічно-зміцненої арматурної сталі класу А500С. Балки КБ-1.1, КБ-1.2, армовані Ø20A500C та КБ-2.13, КБ-2.14, армовані Ø16A500C були контрольними і випробувались без пошкоджень робочої арматури. Балки БП-1.3, БП-1.4, армовані Ø20A500C випробували після пошкодження робочої арматури шляхом сверління отвору в зоні «чистого згину» діаметром Ø5,6 мм, зменшуючи площу її перерізу до площі поперечного перерізу Ø16A500C.

Всі інші балки (БП-1.5-0.3 та БП-1.6-0.3, БП-1.7-0.5 та БП-1.8-0.5, БП-1.9-0.7 та БП-1.10-0.7, БП-3.15-0.5 та БП-3.16-0.5) навантажували до рівня 0,3; 0,5 або 0,7 M_{ult}^{exp} (M_{ult}^{exp} – згинальний момент, при якому відбувалось вичерпання несучої здатності внаслідок текучості арматури залізобетонних балок, армованих Ø20A500C без

пошкодження арматури). Після досягнення відповідного рівня навантаження виконували пошкодження розтягнутої робочої арматури шляхом висверлювання отворів із поетапним збільшенням по 0,5 мм їх діаметру від $\varnothing 1,0$ до $\varnothing 5,6$ мм, зменшуючи площу до перерізу $\varnothing 16$ (рис. 2). У зразках БП-1.11-0.5* та БП-1.12-0.5* виконано 5 отворів по довжині стержня з тими же діаметрами (рис. 2). Після цього балки продовжували поетапно навантажувати до вичерпання несучої здатності.

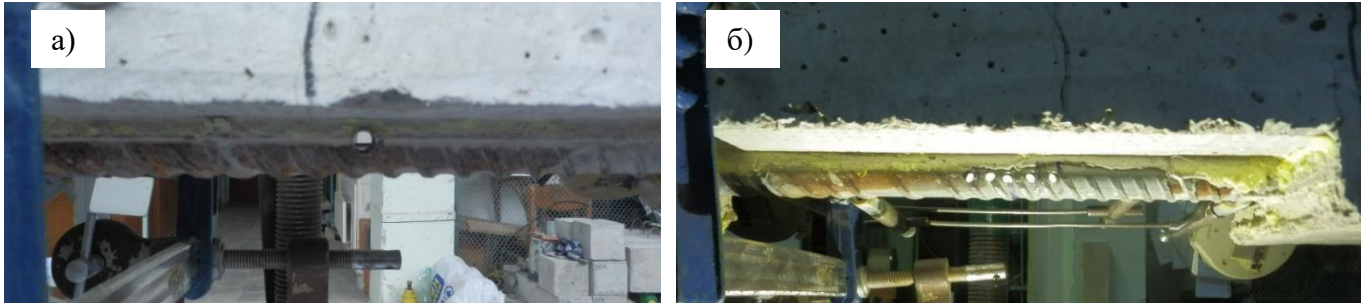


Рис. 2. Загальний вигляд одиночного отвору (а) та п'яти отворів (б) у робочій арматурі пошкоджених зразків

Фізико-механічні характеристики бетону і арматури отримано шляхом лабораторних випробувань:

- бетон: $f_{ck,prism}=33.8$ МПа, $f_{ck,cube}=48.7$ МПа; $E_{ck}=35.1 \times 10^{-3}$ МПа;
- арматура (зміцнений шар): $\sigma_{0.2} = 650$ МПа; $\sigma_u = 760$ МПа;
- арматура (серцевина): $\sigma_{0.2} = 440$ МПа; $\sigma_u = 560$ МПа;
- арматура (суцільна): $\sigma_{0.2} = 570$ МПа; $\sigma_u = 650$ МПа.

За результатами випробування мікротвердості поперечних шліфів термічно-зміцненої арматури та випробуванням спеціально виготовлених з арматурних стержнів зразків встановлено, що зовнішні термічно-зміцнені шари арматури мають вищі фізико-механічні властивості в порівнянні із серцевиною стержнів.

У **третьому розділі** наведено результати експериментальних досліджень згинальних залізобетонних балок не пошкоджених і з пошкодженою робочою арматурою без та при дії навантаження.

Деформації бетону та арматури балок визначали за допомогою показів мікроіндикаторів годинникового типу, які фіксували на спеціальних тримачах до основної арматури у розтягнутій зоні, найбільш стиснутої фібри бетону та за висотою перерізу балок. Оскільки, найбільші деформації були зосереджені в зоні «чистого згину» зразка, тому подальший аналіз напружено-деформованого стану проводився в даній зоні балок.

Критерії вичерпання несучої здатності приймалися згідно діючих норм ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування».

Характерним для всіх підсилених зразків було досягнення деформацій основної арматури межі текучості при $\varepsilon_y = 285 \cdot 10^{-5}$ (рис. 3), після чого відбувалось досягнення деформацій бетону найбільш стиснутої фібри граничних значень і подальше фізичне руйнування стиснутої зони бетону. В пошкоджених зразках виявлено характерне, як і для не пошкоджених, досягнення робочої арматури межі текучості, проте фізичне руйнування відбувалось внаслідок розриву стержнів робочої арматури (рис. 3).

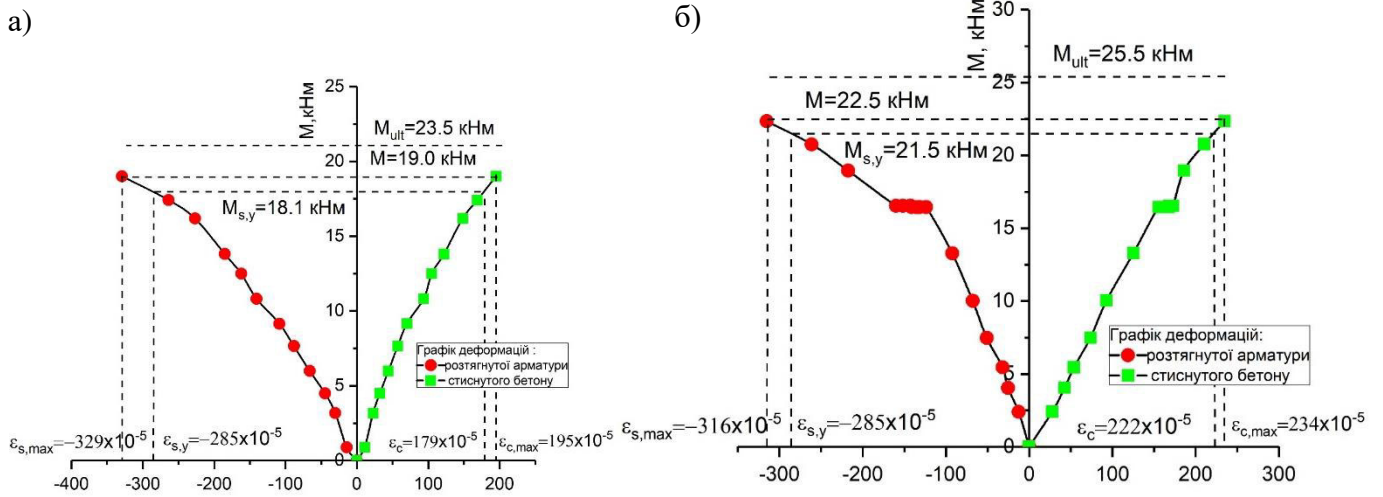


Рис. 3. Характерні графіки розтягнутої робочої арматури та стиснутого бетону на прикладі зразків:БП-1.3 та БП-1.4(а); БП-1.7-0.5 та БП-1.8-0.5 (б)

Зведені результати випробування зразків залізобетонних балок наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Несуча здатність експериментальних зразків

Шифр зразка	Вичерпання несучої здатності, кНм		Фізичне руйнування, кНм		Відхилення несучої здатності відносно КБ-1, %		Відхилення фізичного руйнування відносно КБ-1, %	
	зразка	середнє	зразка	середнє	зразка	середнє	зразка	середнє
КБ-1.1	24,9	24,2	32,9	31,1	-	-	-	-
КБ-1.2	23,5		29,3		-		-	
БП-1.3	19	18,1	22,9	23,5	21,5	25,2	26,4	24,4
БП-1.4	17,2		24,1		28,9		22,5	
КБ-2.13	16,3	16,9	20	21,1	32,6	30,2	35,7	32,2
КБ-2.14	17,5		22,2		27,7		28,6	
БП-1.5-0.3	19,9	21	24,3	25,7	17,8	13,2	21,9	17,4
БП-1.6-0.3	22,1		27,1		8,7		12,9	
БП-1.7-0.5	23,3	21,5	26,9	25,5	3,7	11,2	13,5	18,0
БП-1.8-0.5	19,7		24,1		18,6		22,5	
БП-1.9-0.5*	17,5	18,4	21,9	23,5	27,7	24,0	29,6	24,4
БП-1.10-0.5*	19,3		25,1		20,2		19,3	
БП-1.11-0.7	23,9	23,3	26,6	25,9	1,2	3,7	14,5	16,7
БП-1.12-0.7	22,7		25,2		6,2		19,0	
БП-3.15-0.5	23,9	21,8	27,1	25,9	1,2	9,9	12,9	16,7
БП-3.16-0.5	19,7		24,7		18,6		20,6	

Примітка: відхилення визначали відносно контрольних зразків КБ-1.1 та КБ-1.2

У зразках БП-1.3 та БП-1.4, КБ-2.13 та КБ-2.14 площа робочої арматури, як і всі інші параметри (міцність бетону, розташування каркасів тощо) були однакові. Проте, згідно табл. 1, несуча здатність зразків з пошкодженою арматурою діаметром 20А500С (БП-1.3 та БП-1.4) є більшою від несучої здатності зразків з робочою арматурою діаметром 16А500С (КБ-2.13 та КБ-2.14). Це пояснюється тим, що в

пошкоджених зразках більшою частиною робочого перерізу арматури залишається термічно-зміцнений зовнішній шар з вищими фізико-механічними характеристиками. Тому, відхилення несучої здатності у пошкоджених зразках в середньому складало до 25,2%.

У зразках, пошкоджених при дії навантаження, несуча здатність відхилялась приблизно однаково в межах 3.7...13.2%. Більша несуча здатність пошкоджених зразків при дії навантаження з пошкодженою арматурою діаметром 20А500С (площа пошкодженої відповідає площі діаметру 16 мм) у порівнянні із зразками з робочою арматурою діаметром 16А500С пояснюється наявністю термічно-зміцненого шару. Під час пошкодження отвором значно зменшується площа перерізу серцевини (незміцненого перерізу арматури) та порівняно незначно зменшується зовнішній термічно-зміцнений шар, що і пояснює вищі значення несучої здатності. Кількість отворів також впливає на несучу здатність пошкоджених зразків. Зразки БП-1.9-0.5* та БП-1.10-0.5* мали більшу кількість отворів (5 отворів у порівнянні з рештою зразками, які мають 1 отвір), що зменшило несучу здатність і, відповідно, збільшило відхилення відносно контрольних непошкоджених зразків з робочою арматурою 20 мм до 24.0%.

Типовий характер руйнування пошкоджених балок наведено на рис.4.



Рис. 4. Типовий характер руйнування балок 1-ї серії з пошкодженою робочою арматурою

Для вимірювання прогину балок було використано 5 прогиномірів Аістова та 2 індикатори годинникового типу. Крайні відступи в місцях встановлення індикаторів годинникового типу прийняті по 100 мм від краю зразка над опорами балок, а решта рівномірно з кроком 317 мм вздовж осі балки.

Згідно ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини та переміщення», граничний прогин залізобетонних балок покриттів та перекриттів, відкритих для огляду, при прольоті 1900 мм (проліт експериментальних залізобетонних балок) складає $l/133.5$ (згідно діючих норм для балок $l=1\text{м} - l/120$, для $l=3\text{м} - l/150$, за інтерполяцією для балок $l=190\text{см} - l/133,5$), тобто граничний прогин для даних експериментальних зразків складає 14.2 мм.

Загальні результати деформативності дослідних залізобетонних балок наведено в таблиці 2.

Деформативність експериментальних зразків

Шифр зразка	Згинальний момент при граничному прогині, кНм		Відхилення, відносно КБ-1, %	
	зразка	середнє	зразка	середнє
КБ-1.1	19,3	18,1	-	-
КБ-1.2	16,9		-	
БП-1.3	16,2	16,9	10,5	6,6
БП-1.4	17,6		2,8	
КБ-2.13	13,7	14,8	24,3	18,2
КБ-2.14	15,9		12,2	
БП-1.5-0.3	14,8	15,9	18,2	12,2
БП-1.6-0.3	17		6,1	
БП-1.7-0.5	19,8	18,6	-9,4	-2,8
БП-1.8-0.5	17,4		3,9	
БП-1.9-0.5*	11,7	13,4	35,4	26,0
БП-1.10-0.5*	15,1		16,6	
БП-1.11-0.7	18,3	17,9	-1,1	1,1
БП-1.12-0.7	17,5		3,3	
БП-3.15-0.5	24,9	23	-37,6	-27,1
БП-3.16-0.5	21,1		-16,6	

Отже, згідно з результатами випробування експериментальних балок без дії початкового рівня навантаження (таблиця 2) визначено, що згинальний момент при граничному прогині має незначне зменшення для зразків пошкоджених без дії певного рівня навантаження в порівнянні з контрольними пошкодженими зразками і складає 6.6%. Більшими є відхилення згинального моменту при граничному прогині для зразків з робочою арматурою 16A500C, який складає 18.6%.

Згідно з результатами деформативності зразків, пошкоджених при рівні навантаження, помітно, що для більшості балок відхилення згинального моменту при якому досягався граничний прогин, відносно контрольних зразків, коливається в межах 1,1...27,1%.

В четвертому розділі описано методика розрахунку несучої здатності згинальних залізобетонних балок, пошкоджених без та при дії навантаження, за деформаційною моделлю.

При розрахунку залізобетонних згинальних елементів з пошкодженою арматурою (рис. 5) прямокутної форми перерізу приймали наступні рівняння рівноваги згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010:

$$\frac{bf_{cd} \varepsilon_{c1}}{\varkappa^0} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^0}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+1} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{bf_{cd} (\varepsilon_{c1})^2}{\varkappa^0} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^0}{\varepsilon_{c1}} \right)^{k+2} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (X_1^0 - Z_{si}) = M_0. \quad (2)$$

Алгоритм визначення параметрів напружено-деформованого стану нормального перерізу залізобетонного згинального елемента (рис. 6), згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010, являє собою ітераційний процес на кожному етапі якого реалізується

поступовий розрахунок усереднених відносних деформацій бетону нижньої фібри за попередньо заданими величинами деформацій на верхній фібрі перерізу з рівняння (1).

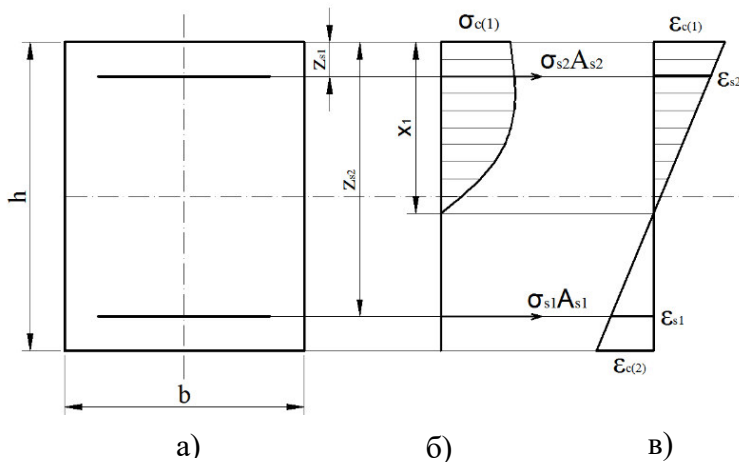


Рис. 5. Напружено-деформований стан згинального залізобетонного елемента прямокутного перерізу:
а) поперечний переріз елемента;
б) епюра напружень;
в) епюра деформацій.

Після закінчення розрахунку при заданій величині відносних деформацій бетону на верхній фібрі виконувалось їх збільшення і розрахунок повторювався. При досягненні необхідного значення згинального моменту з рівняння (2) ітераційний процес припиняли. Таким чином в результаті першого етапу нелінійного розрахунку напружено-деформованого стану за деформаційною моделлю отримували відносні деформації бетону верхньої і нижньої фібри, шарів арматури, кривизну вигнутої осі в нормальному перерізі залізобетонної балки при заданій величині навантаження.

Згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010 за деформаційною моделлю розрахунок не передбачає врахування рівня навантаження, при якому здійснено пошкодження зразків. В дисертаційній роботі запропоновано методику розрахунку залізобетонних елементів, пошкоджених при дії навантаження, за деформаційною моделлю.

Розрахунок несучої здатності при згині залізобетонних конструкцій, пошкоджених під навантаженням, пропонується виконувати в два етапи. На першому етапі досліджується напружено-деформований стан нормального перерізу основного конструктивного елемента до отримання пошкоджень.

Методом ітераційного підбору визначається кривизна на кожному рівні навантаження. Потім, задається умова - якщо кривизна менша від кривизни при дії навантаження певного рівня, при якому виконували пошкодження (рис. 6), то розрахунок виконується як для звичайного не пошкодженого елемента, а якщо значення кривизни перевищує визначене значення при навантаженні, за якого виконувалось пошкодження, виконується розрахунок для залізобетонних конструкцій з параметрами пошкодження (зменшення проценту армування, зміна фізико-механічних характеристик).

Методика розрахунку прогину експериментальних залізобетонних балок, виконана згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Для загального випадку прогин залізобетонних балок визначається за умовою:

$$f_m = \int_0^l M_x \left(\frac{1}{r} \right)_x dx, \quad (3)$$

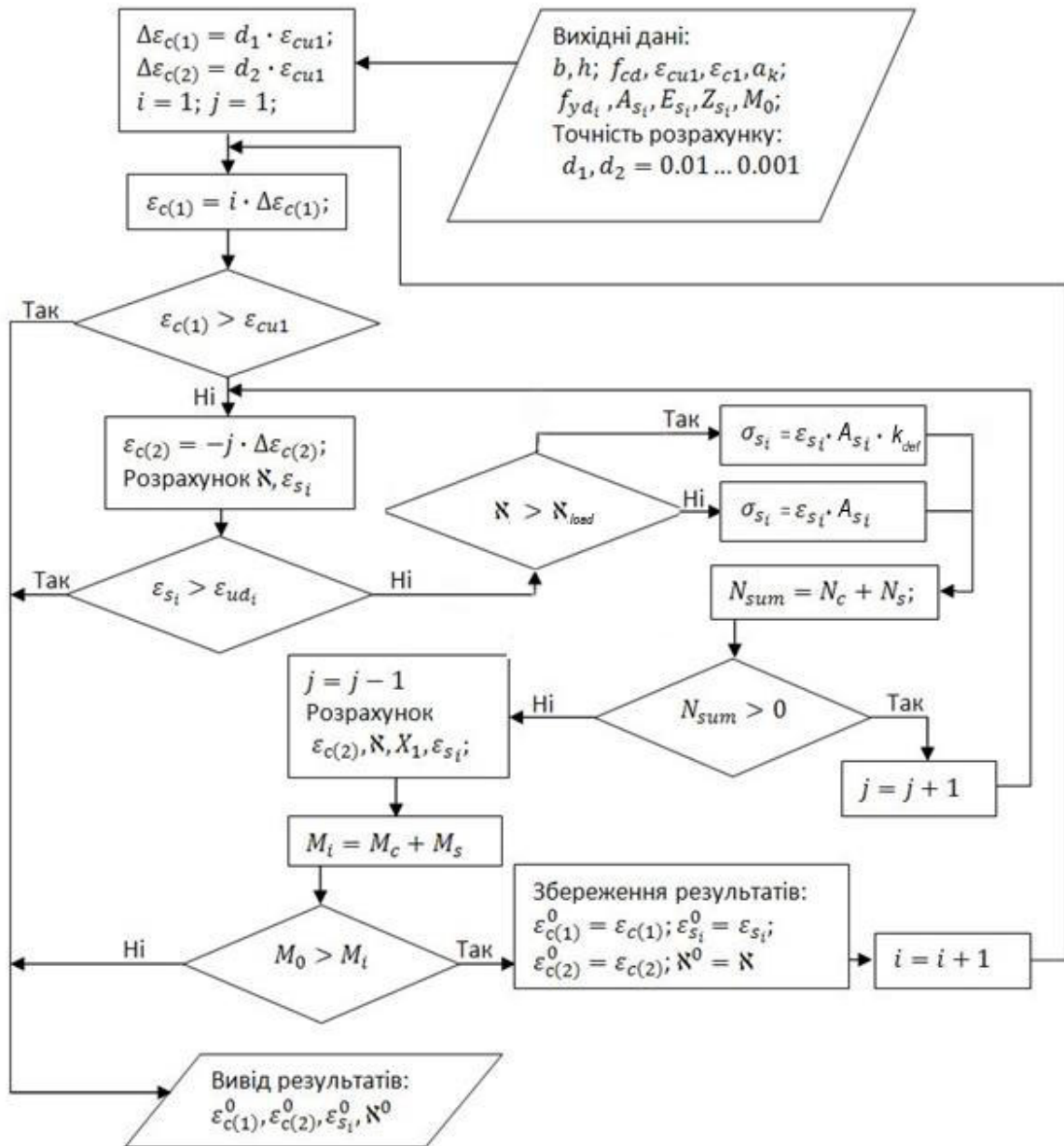


Рис. 6. Блок-схема розрахунку напружено-деформованого стану нормального перерізу залізобетонного сигнального елемента з пошкодженою арматурою при дії навантаження

де M_x – згинальний момент перерізу «х» від одиночної сили, яка прикладена у напрямку невідомого переміщення; $(l/r)_x$ – кривизна перерізу, яка визначається з використанням дійсних характеристик матеріалів розрахунком за II групою граничних станів.

Оскільки в роботі досліджуються статично визначені зразки, в яких є незмінним поперечний переріз, то прогин в експериментальних зразках обчислювали згідно:

$$f = \left(\frac{1}{r}\right) k_m l^2, \quad (4)$$

де l – довжина прольоту балки, а k_m – коефіцієнт, який визначається згідно з ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

Оскільки відстань між прикладанням сил у дослідних балках прийнято 1/3 прольоту:

$$k_m = \frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2} = \frac{1}{8} - \frac{\frac{1}{3}l^2}{6l^2} = \frac{5}{72}, \quad (5)$$

Згідно опрацьованого та вдосконаленого розрахунку відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.6-156:2010 побудовано графіки деформацій розтягнутої арматури та найбільш стиснутої фібри бетону. Вдосконалений розрахунок враховує зменшення фізико-механічних характеристик арматури внаслідок пошкодження та можливість виконання розрахунку для конструкцій, пошкоджених при рівні навантаження, що не передбачає деформаційна модель. Розрахунок за міцністю, після застосування зменшених характеристик матеріалів, дозволяє отримати достовірний результат, який узгоджується з експериментальними даними. При розрахунку за деформативністю застосовувались рекомендації згідно ДСТУ Б В.2.6-156:2010, які забезпечують достатній запас за досягненням максимально допустимих прогинів, згідно вимоги ДСТУ «Прогини та переміщення».

Графіки порівняння теоретичних та експериментальних значень деформацій бетону та робочої арматури залізобетонних балок з пошкодженою арматурою подано на рис. 7.

Згідно із запропонованою блок-схемою розрахунку напружено-деформованого стану залізобетонних балок з пошкодженою робочою арматурою при дії навантаження визначено момент вичерпання несучої здатності дослідних зразків (див. таблицю 4).

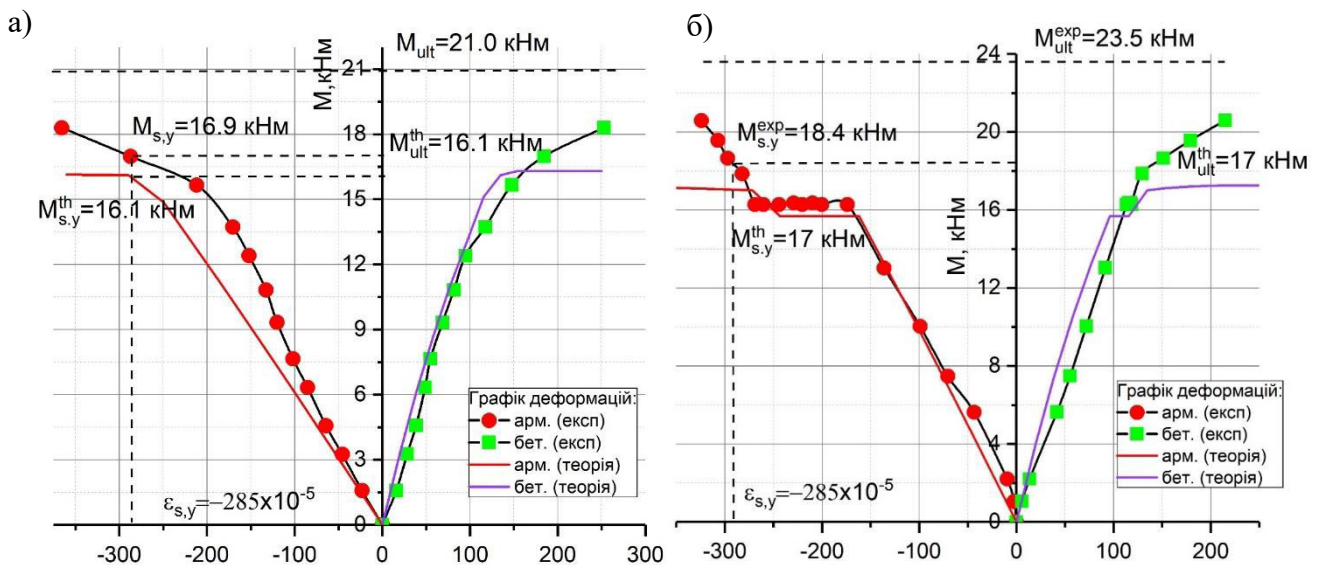


Рис. 7. Характерні графіки теоретичних та експериментальних деформацій розтягнутої робочої арматури та стиснутого бетону на прикладі зразків:БП-1.3 та БП-1.4(а); БП-1.9-0.5* та БП-10-0.5* (б),

Відхилення експериментальних величин від теоретичних за несучою здатністю досліджених залізобетонних балок при досягненні деформацій текучості основної арматури (вичерпання несучої здатності) для контрольних непошкоджених зразків складало 2.9...5.0% в сторону заниження теоретичних величин, що забезпечує надійність розрахунку згідно деформаційної моделі, та дозволяє використання його в практиці. Для пошкоджених зразків без початкового рівня навантаження відхилення складало 11% в сторону заниження теоретичних величин і, так само, дозволяє використання даного розрахунку за деформаційною моделлю. Для зразків,

пошкоджених при дії певного рівня навантаження розбіжність теоретичного розрахунку та експериментальних величин складало 7.6...11%, для окремих балок до 20,9% в сторону заниження теоретичних величин, що підтверджує можливість використання в практиці вдосконаленої методики розрахунку за деформаційною моделлю для зразків, пошкоджених при дії навантаження, розробленої в даній роботі.

Таблиця 4

Вичерпання несучої здатності дослідних балок

Шифр зразка	Вичерпання несучої здатності, кНм		Відхилення експериментального значення від теоретичного, %
	Експериментальне, M_s^{exp}	Теоретичне, M_s^{th}	
КБ-1.1 та КБ-1.2	24.2	23.5	2.9
БП-1.3 та БП-1.4	18.1	16.1	11.0
БП-1.5-0.3 та БП-1.6-0.3	21	17.1	18.6
БП-1.7-0.5 та БП-1.8-0.5	21.5	17	20.9
БП-1.9-0.5* та БП-1.10-0.5*	18.4	17	7.6
КБ-2.13 та КБ-2.14	16.9	16.1	5.0
БП-3.15-0.5 та БП-3.16-0.5	21.8	19.9	8.7

Результати розрахунку за критерієм досягнення деформацій бетону стиснутої зони граничних значень (фізичне руйнування) у порівнянні з експериментальними даними наведено в табл. 5. Необхідно відмітити, що для не пошкоджених зразків згідно експериментальних та теоретичних результатів руйнування відбулось після досягнення деформацій стиснутого бетону граничних значень та супроводжувалось крихким руйнуванням стиснутої зони бетону.

У зразках з пошкодженням робочої арматури експериментальне руйнування відбулось внаслідок розриву стержнів, а теоретичний розрахунок показує, що руйнування відбулось внаслідок досягнення деформацій найбільш стиснутої фібри бетону граничних значень. Це пояснюється тим, що робоча арматура була пошкоджена в одному локальному місці, а не по всій довжині ділянки «чистого згину». При цьому, наявність значних деформацій розтягу, починаючи від межі текучості і на ділянці пластичності була тільки в місці пошкодження, що і приводило до розриву арматури. Необхідно зауважити також, що отвори в арматурних стержнях, які моделювали пошкодження, є своєрідними концентраторами напружень, що теж впливало на наявний характер вичерпання несучої здатності залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури. Крім цього деформаційна модель не враховує наявності термічно-зміцненого шару арматури і неоднорідність поперечного перерізу арматури (це важливо при наявності пошкоджень).

За критеріями досягнення граничних деформацій бетону або розриву стержнів арматури (фізичне руйнування) для контрольних не пошкоджених зразків відхилення експериментальних величин від теоретичних складало 23.3...24.4%, для пошкоджених зразків без початкового рівня навантаження – 31.5%, а для зразків, пошкоджених при дії певного рівня навантаження такі відхилення склали 23.0...33.3%. Такі значні відхилення пояснюються тим, що розрахунок враховує початок текучості, але не враховує межу пластичної сталі з криволінійною

залежністю напруження-деформації, приймаючи прямолінійну горизонтальну пряму робочої арматури. Хоча, в цілому експериментальні значення вичерпання несучої здатності балок перевищують теоретичні, що забезпечує надійність та безпеку конструкції.

Таблиця 5

Фізичне руйнування дослідних балок

Шифр зразка	Фізичне руйнування, кНм		Відхилення експериментального значення від теоретичного, %
	Експеримент, N_c^{exp}	теоретичний розрахунок, N_c^{th}	
КБ-1.1 та КБ-1.2	31.1	23.5	24.4
БП-1.3 та БП-1.4	23.5	16.1	31.5
БП-1.5-0.3 та БП-1.6-0.3	25.7	17.1	33.0
БП-1.7-0.5 та БП-1.8-0.5	25.5	17	33.3
БП-1.9-0.5* та БП-1.10-0.5*	23.5	17	27.6
КБ-2.13 та КБ-2.14	21	16.1	23.3
БП-3.15-0.5 та БП-3.16-0.5	25.9	19.9	23.0

Результати розрахунку за досягненням граничних прогинів наведено в табл. 6. Розрахунок проводився згідно деформаційної моделі за алгоритмом, поданим в даній дисертаційній роботі.

Таблиця 6

Граничні прогини балок

Шифр зразка	Момент, що відповідає граничним прогинам, кНм		Відхилення експериментального значення від теоретичного, %
	Експеримент, N_c^{exp}	теоретичний розрахунок, N_c^{th}	
КБ-1.1 та КБ-1.2	18.1	23.5	-29.83
БП-1.3 та БП-1.4	16.9	16.3	3.55
БП-1.5-0.3 та БП-1.6-0.3	15.9	17.2	-8.18
БП-1.7-0.5 та БП-1.8-0.5	18.6	17.3	6.99
БП-1.9-0.5* та БП-1.10-0.5*	13.4	17.3	-29.10
КБ-2.13 та КБ-2.14	14.8	16.3	-10.14
БП-3.15-0.5 та БП-3.16-0.5	23	20.3	11.74

В результаті виконаних розрахунків встановлено, що відхилення теоретичних величин від експериментальних в контрольних непошкоджених зразках становило 10.14..29.83%, що дозволяє використовувати розрахунок за деформаційною моделлю в практиці під час обстеження та експлуатації будівель і споруд. У зразках, пошкоджених без дії певного рівня навантаження таке відхилення складало 3.6%.

У зразках, пошкоджених при дії навантаження відхилення теоретичних результатів розрахунку від експериментальних значень складало 7...11.7% в сторону як зниження, так і завищення експериментальних та теоретичних величин. Слід відмітити, що відхилення зразків, пошкоджених при рівні навантаження 0,5 від

руйнівного з більшою кількістю ділянок пошкоджень (5 отворів в порівнянні з 1 для більшості зразків) таке відхилення склало 29.1%. Це пояснюється специфікою пошкоджень лише в локальних місцях стержнів та відповідно наявністю концентраторів напружень в робочій арматурі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу щодо визначення несучої здатності та деформативності згинальних залізобетонних елементів, які отримали пошкодження розтягнутої робочої арматури при дії навантаження різного рівня інтенсивності, а також методики їх розрахунку на основі проведених комплексних експериментально-теоретичних досліджень. Основними висновками, які відображають результати дисертаційної роботи, є наступні:

1. За час експлуатації залізобетонні конструкції отримують пошкодження, які погіршують їх характеристики і впливають на напружено-деформований стан. Одним з найбільш характерних дефектів є пошкодження арматури, які зменшують її поперечний переріз і, як наслідок, несучу здатність та експлуатаційну придатність залізобетонних конструкцій. Однак, аналіз виконаних досліджень, як в нашій країні, так і за кордоном показує, що недостатньо вивчено питання впливу на напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій пошкоджень арматури, отриманих за дії навантаження.

2. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження, а також арматурних стержнів з різного роду пошкодженнями поперечного перерізу.

3. Експериментальними випробуваннями арматурних стержнів з різного роду пошкодженнями поперечного перерізу показано, що вони впливають на зміну діаграм $\sigma - \epsilon$ та зменшують фізико-механічні характеристики арматурних стержнів, що, як наслідок, може впливати на несучу здатність та експлуатаційну придатність залізобетонних конструкцій. Крім цього, експериментальними випробуваннями дослідних зразків арматури встановлено, що зовнішні термічно-зміцнені шари арматури мають вищі фізико-механічні властивості сталі в порівнянні із серцевиною, в якій відсутній ефект термічного зміцнення. Цей фактор необхідно враховувати при визначенні несучої здатності залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями робочої арматури, адже при повному чи частковому знищенні зовнішнього термічно-зміцненого шару арматурних стержнів їх фізико-механічні характеристики значно зменшуються.

4. Виконаними експериментальними дослідженнями встановлено параметри міцності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних балок з пошкодженнями робочої розтягнутої арматури за дії навантаження різної інтенсивності: 0,3; 0,5; 0,7 від дії згинального моменту, при якому настає вичерпання несучої здатності.

5. При поступовому зменшенні поперечного перерізу розтягнутої арматури за дії навантаження відбувається збільшення деформацій як арматури, так і бетону по висоті перерізу конструкції, при цьому за подальшого збільшення навантаження кінцева несуча здатність залізобетонних балок зменшується в порівнянні із зразками з непошкодженою арматурою. Кінцева несуча здатність зменшується практично пропорційно від зменшення площі робочої арматури.

6. Вичерпання несучої здатності залізобетонних балок без пошкодження робочої арматури відбувалось внаслідок досягнення межі текучості робочої арматури і після поступового збільшення навантаження досягнення бетоном крайньої фібри граничних деформацій та його роздробленням. В залізобетонних балках з пошкодженою за дії навантаження арматурою із збільшенням навантаження вичерпання несучої здатності відбувалось внаслідок досягнення межі текучості робочої арматури, а після подальшого збільшення навантаження відбувався розрив робочої арматури без роздроблення бетону стиснутої зони. Це пояснюється тим, що пошкодження арматури виконувалось в одному локальному місці шляхом висверлювання отвору, який крім цього в свою чергу служив концентратором напружень.

7. Залізобетонні балки з робочою арматурою $\varnothing 20A500C$, площа якої шляхом пошкодження зменшувалась до площі стержнів $\varnothing 16A500C$ мали кінцеву несучу здатність на 3,7...25,2 % вищу від залізобетонних балок армованих стержнями $\varnothing 16A500C$ без пошкоджень. Це пояснюється тим, що під час пошкодження стержнів $\varnothing 20A500C$, шляхом висверлювання отворів, в більшій мірі пошкоджувалась серцевина з меншими фізико-механічними характеристиками і в меншій мірі пошкоджувався зовнішній термічно-зміцнений шар із вищими фізико-механічними характеристиками.

8. Аналіз отриманих результатів показує, що у випадку використання термічно-зміцненої арматури при її пошкодженні необхідно врахувати наявність зовнішнього термічно-зміцненого шару поперечного перерізу стержнів та внутрішньої серцевини з нижчими фізико-механічними властивостями. При частковому чи повному пошкодженні зовнішнього термічно-зміцненого шару арматурних стержнів їх фізико-механічні властивості характеристиками зменшуються, що впливає на кінцеву несучу здатність конструкцій.

9. Прогини залізобетонних балок при збільшенні навантаження зростали практично лінійно до появи тріщин і з дещо більшою інтенсивністю після їх появи. Під час пошкодження арматури за дії певного рівня навантаження прогини практично не змінювались, оскільки, пошкоджувалась арматура в одному локальному місці і зменшувалась жорсткість лише одного перерізу. Після зростання навантаження в залізобетонних балках з пошкодженою арматурою прогини зростали до досягнення граничних значень, визначених за діючими нормами.

10. Запропоновано методика розрахунку залізобетонних згинальних елементів за деформаційною моделлю діючих норм, згідно з якою на першому етапі виконується розрахунок з поступовим збільшенням навантаження до пошкодження робочої арматури за відповідним алгоритмом, на другому етапі ведеться розрахунок при отриманні пошкоджень робочої арматури та при подальшому навантаженні. При цьому, за розробленим алгоритмом розрахунку, визначались деформації арматури, бетону, прогини, а також вичерпання несучої здатності.

11. Аналіз отриманих результатів показує, що запропонована методика із задовільною збіжністю з експериментальними даними дозволяє визначати деформації арматури із врахуванням пошкоджень та бетону перерізу балок. Запропонована методика дозволяє також із задовільною точністю визначати

вичерпання несучої здатності залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури за дії навантаження.

12. Визначені за запропонованою методикою прогини залізобетонних балок із задовільною збіжністю узгоджуються з експериментальними даними.

13. В цілому, аналіз отриманих результатів теоретичних досліджень та їх задовільна збіжність із експериментальними даними дозволяє використовувати запропоновану методику на базі деформаційної моделі для розрахунку залізобетонних згинальних конструкцій з пошкодженнями робочої арматури, отриманими за дії навантаження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України

1. Бліхарський З. З. Методика досліджень залізобетонних балок з пошкодженнями отриманими за дії навантаження / З. З. Бліхарський, Б. Р. Турчин., П. І. Вегера, Т. М. Шналь // Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – С. 213–218. (Розроблено методику та програму експериментальних досліджень). (**Index Copernicus**)

2. Бліхарський З.З. Особливості напружено деформованого стану залізобетонних балок, пошкоджених за дії навантаження/ З.З. Бліхарський, П.І. Вегера, Т.М. Шналь, // Вісник одеської державної академії Будівництва та архітектури. – 2018. - №69. – С16-21. (Виконано експериментальні дослідження залізобетонних балок та аналіз отриманих результатів).

3. Бліхарський З.З. Несуча здатність залізобетонних балок з пошкодженнями робочим армуванням / З.З. Бліхарський, П.І. Вегера, Т.М. Шналь, // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2018. - №35. – С167-174. (Експериментальним шляхом визначено несучу здатність залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури).

4. Бліхарський З.З. Міцність залізобетонних балок із пошкодженнями, отриманими при експлуатаційному рівні навантаження / З.З. Бліхарський, П.І. Вегера, Т.М. Шналь, // Наука та будівництво. – 2018. - №2. – С61-67. (Експериментальним шляхом визначено несучу здатність залізобетонних балок з пошкодженнями робочої арматури за дії навантаження).

5. Бліхарський З.З. Вплив дефектів робочої арматури на несучу здатність залізобетонних балок / З.З. Бліхарський, П.І. Вегера, Т.М. Шналь, // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – 2018. – № 888. – С. 12–17. (Розрахунковим шляхом з експериментальним підтвердженням встановлено вплив розміру пошкоджень робочої арматури на напружено-деформований стан залізобетонних балок).

Публікації у закордонних наукових періодичних виданнях

6. Zinoviy Blikharskyu. The influence of the damaged reinforcing bars on the stress-strain state of the reinforced concrete beams /Zinoviy Blikharskyu, Taras Shnal, Roman

Khmil// Production engineering archives. 2017, Vol. 14, p 23-26. (Експериментальні дослідження впливу покоджень арматури на параметри міцності залізобетонних балок). (**Index Copernicus**)

Публікації тез та доповідей за матеріалами конференцій

1. Бліхарський З.З., Вегера П.І., Шналь Т.М. Дослідження залізобетонних балок з пошкодженою робочою арматурою за дії навантаження // Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції : робоча програма та тези доповідей II Науково-практичної конференції, 24-25 травня 2018 р., Київ - Київ : Фіктивне видавництво в Україні. – С. 45 – 48. (*Виконання експериментальних досліджень залізобетонних балок*).

2. Вегера П.І., Шналь Т.М., Бліхарський З.З. Деформативність залізобетонних балок, пошкоджених при дії навантаження // Експлуатація та реконструкція будівель і споруд : тези доповідей II Міжнародної конференції, 16-17 листопада 2017 р., Одеса - Одеса : Одеська Державна академія будівництва та архітектури. – С. 17 – 20. (*Виконання експериментальних досліджень залізобетонних балок та аналіз їх деформацій*).

3. Бліхарський З.З., Вегера П.І., Шналь Т.М. Експериментальні дослідження несучої здатності залізобетонних балок з пошкодженнями // Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села. Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат. 15-17 травня 2019 р. Дубляни – Дубляни: Львівський національний аграрний університет. (*Виконання експериментальних досліджень залізобетонних балок та аналіз отриманих результатів*).

АНОТАЦІЯ

Бліхарський З.З. Міцність та деформативність залізобетонних балок з пошкодженням арматури при дії навантаження.– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, 2019.

В дисертації досліджено несучу здатність та деформативність згинальних залізобетонних балок з пошкодженою при дії навантаження арматурою.

Отримано результати експериментальних досліджень та проаналізовано зміну параметрів НДС в залежності від рівня діючого на час пошкодження навантаження.

Розроблено методику визначення несучої здатності згинальних залізобетонних балок, пошкоджених при дії навантаження, на основі нелінійної деформаційної моделі ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

Запропоновано методику врахування дії певного рівня навантаження на несучу здатність залізобетонних балок з пошкодженням робочої арматури.

Складено алгоритм теоретичного визначення прогину згинальних залізобетонних балок.

Ключові слова: залізобетонна балка, робоча арматура, пошкодження арматури, навантаження, несуча здатність, нормальні перерізи, деформації, тріщини.

ABSTRACT

Z. Blikharskyy. Strength and deformability of reinforced concrete beams with damaged main reinforcement under load - Manuscript.

The thesis for receiving the scientific Candidate's degree in technical sciences (PhD) on specialty 05.23.01 «Building Constructions, Buildings and Structures». – National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, 2019.

In the thesis the bearing capacity, deformability and fracture resistance of bent reinforced concrete elements with damaged main reinforcement under the influence of load are investigated.

The introduction substantiates the relevance of the topic of the thesis sets out the purpose and objectives of the research, the connection of work with scientific programs, scientific novelty, practical value of the work, its general characteristics.

The first section has review the methods of reinforcement of reinforced concrete structures, the analysis of experimental and theoretical studies of the strength of reinforced concrete beams and the stress-strain state of damaged reinforced concrete structures.

The second section contains the program and methodology of experimental studies of bent reinforced concrete elements with damaged main reinforcement under the influence of load.

To achieve thesis' goal and the implementation of research objectives 16 test beams were manufactured. The developed program and method of experimental researches made it possible to study the work of reinforced concrete elements with damaged main reinforcement under the influence of load.

The third section presents the results of experimental studies of bent reinforced concrete elements not damaged and damaged under loading. The experimental dates of strength, deflection of damaged beams, depending from the loading level were obtained.

The fourth section describes the method of calculating the strength of damaged under loading reinforced concrete bending elements by deformation model. In this section the methodology and algorithm for calculating the load-bearing capacity and stress-strain state of reinforced concrete bending elements with reinforcement's damages are described. It is also proposed to clarify the calculation of the strength of normal cross sections of reinforced concrete structures, damaged under action of loading.

To perform the approbation of the proposed methods, the strength of the normal sections of investigated reinforced concrete beams were calculated according to the proposed algorithms. The comparative analysis showed a satisfactory correlation of experimental and theoretical dates.

Keywords: RC beam, longital rebars, damaged rebars, loading, bearing capacity, main cross-section, strains, cracks.

АННОТАЦИЯ

Блихарский З. З. Прочность и деформативность железобетонных конструкций, с поврежденной рабочей арматурой под действием нагрузки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, 2019.

В диссертации исследованы несущая способность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов с поврежденной под действием нагрузки рабочей арматурой.

Получены результаты экспериментальных исследований и проанализированы изменения параметров НДС в зависимости от уровня действующей на время повреждения нагрузки.

Разработана методика определения несущей способности изгибаемых железобетонных балок, поврежденных при воздействии нагрузки, с использованием нелинейной деформационной модели ДСТУ Б В.2.6-156: 2010.

Предложено методике учета действующего уровня нагрузки на несущую способность железобетонных балок с повреждением рабочей арматуры.

Составлен алгоритм теоретического определения прогиба изгибаемых железобетонных балок.

Ключевые слова: железобетонная балка, рабочая арматура, повреждение арматуры, нагрузка, несущая способность, нормальные сечения, деформации, трещины.