



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v26i4.3>

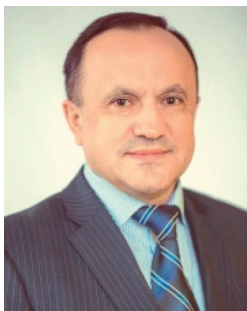
УДК 624.012.3/4:624.072.2



ЛОБОДАНОВ М.М.
Аспірант, Національний
університет «Львівська
політехніка», м. Львів, Україна,
e-mail: maksym.m.lobodanov@lpnu.ua,
тел. +38 (068) 995-34-66,
ORCID: 0000-0001-5282-6865



ВЕГЕРА П.І.
Канд. техн. наук, асистент,
Національний університет
«Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна,
e-mail: pavlo.i.vehera@lpnu.ua,
ORCID: 0000-0002-3437-1825



БЛІХАРСЬКИЙ З.Я.
Д-р техн. наук, професор,
Національний університет
«Львівська політехніка»,
м. Львів, Україна,
e-mail: zinovii.y.blikharskyi@lpnu.ua,
ORCID: 0000-0002-4823-6405

ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ПОШКОДЖЕННЯМ ЗА ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ

АНОТАЦІЯ

В статті наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень залізобетонних балок з пошкодженням бетону в стиснутій зоні за дії навантаження. Для порівняння впливу пошкодження, було виконано дослідження залізобетонних балок без пошкодження, з пошкодженням без дії навантаження і з пошкодженням за дії навантаження. В останньому випадку зменшення стиснутої зони здійснювалось при рівні 0,3 від руйнівного навантаження контрольного зразка. Таким чином, пошкодження здійснювалось в першій стадії напружено-деформованого дослідного зразка - до появи тріщин. Для моделювання було взято розрахункову програму FEMAP, з використанням розрахункового апарату NX Nastran. Пошкодження здійснене по середині стиснутої зони розмірами 30x20мм. Для теоретичного моделювання використовувався програмний розрахунковий комплекс FEMAP з використанням обчислювального апарату NX Nastran. Також, було проведено порівняння розподілу внутрішніх напружень експериментального і теоретичного зразків при пошкодженні бетону. Дослідження показало збільшення несучої здатності при пошкодженні елемента при навантаженні 0,3 від очікуваної величини

руйнівного навантаження контрольного зразка, в порівнянні при пошкодженні до дії навантаження. Втрата несучої здатності при пошкодженні під дією навантаження в порівнянні зі зразком без пошкодження становить 18,9%. Пошкодження впливає і на тріщиностійкість елемента, та утворення не типових тріщин. Утворення не типових тріщин відбувається за рахунок зміни напрямку головних напружень із виконанням пошкодження. Цей досвід показав, що допустиме відхилення не було перевищено за рахунок значного зменшення точності розрахунку. Однак, при необхідності можна зменшити відсоток відхилення показань через складність розрахунку. Існують різні способи зменшити відхилення, підвищити відповідності фізико-механічних характеристик матеріалів (наприклад, використовувати нелінійні діаграми замість білінійних), збільшення кількості кінцевих елементів та інші. А також їх комбінації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: залізобетонні балки, міцність, пошкодження, дефекти

DETERMINATION OF THE BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DAMAGES UNDER LOADING



ABSTRACT

Results of experimental and theoretical research of reinforced concrete beams with damaged concrete in a compressed zone under the load are considered in the paper. To compare the impact, reinforced concrete beams without damage, with damage and with damage under load were studied. In this latter case, the reduction of the compressed zone was carried out at the level of 0.3 of destructive load of control sample. Thus, the damage had been carried out in the first stage of the stress-strain test samples until cracks appeared. For modelling, the FEMAP calculation program and the NX Nastran calculation software were used. The damage was made in the middle of a compressed zone of 30x20 mm. For the theoretical modelling, the FEMAP calculation program and the NX Nastran calculation software were used. A comparison of the distribution of internal forces of experimental and theoretical samples of damaged concrete was also made. The study showed an increase in the bearing capacity when the element is damaged at load of 0.3 of the expected destructive load of control sample in comparison with damage prior loading. The loss of bearing capacity due to damage under the load in comparison with the sample without damage is 18.9%. Damage effects both crack resistance and appearance of atypical cracks. Atypical cracks appear due to change of direction of major forces during damaging. This experience showed that the permissible deviation was not exceeded without significant erasure of the calculation accuracy. However, it is possible to reduce the percentage of deviation in the readings due to complicated calculation, if necessary. There are various methods to reduce deviation, to increase the correspondence of physical and mechanical properties of materials (for example, use of non-linear diagrams instead of bilinear ones), to rise the number of finite elements, as well as combinations of these methods.

KEYWORDS: reinforced concrete beam, strength, damages, defects

ВСТУП

Широке використання залізобетонних елементів на теренах України, зумовлене багатьма аспектами, серед яких можна виділити геоелекономічний. Тенденції відкритого ринку часто приводять до необхідності переобладнання і модернізації існуючих будівель під потреби ринку. Це створює необхідність в обстеженні та встановленні залишкової несучої здатності об'єктів. В значній кількості елементи конструкції будівель були під впливом негативних чинників зовнішнього середовища, також є певний відсоток конструкцій виготовлених з дефектами. Вище вказані чинники безпосередньо впливають на напружено-деформований стан елементів експлуатованої будівлі. Також не слід нехтувати пошкодженнями, що виникають при транспортуванні і монтажі, які призводять до сколювань захисного шару, утворення тріщин та інших пошкоджень. Усі перераховані дефекти та пошкод-

ження безпосередньо впливають на відповідність реального напружено – деформованого стану запроєктованому.

Найбільш поширеними пошкодженнями, є пошкодження захисного шару елемента. Проте найбільш небезпечним для залізобетонних елементів, які працюють на згин, є пошкодження бетону в стиснутій зоні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Місцеві корозійні пошкодження залізобетонних балок розглянуто в статті [1]. В даній праці описано два типи експериментальних дослідів: перша серія розроблена з незначними експлуатаційними пошкодженнями, які можуть бути кваліфікованні згідно [2] як задовільний (стан II). Залізобетонні балки другої серії розробленні з дефектами, що виникають при виготовленні та корозійними пошкодженнями (втрати площі поперечного перерізу робочої арматури до 10 %).

В роботі [3] розглядається вплив факторів пошкодження таврових балок на величину їх руйнівного навантаження. В процесі обробки отриманих експериментальних даних за методикою [4], з видаленням незначущих коефіцієнтів рівнянь регресії, отримана адекватна математична модель, що володіє достатньою інформаційною корисністю і за якою можна оцінити вплив досліджуваних факторів на вихідні параметри балок, виконати геометричну інтерпретацію.

Дослідження розповсюдження корозії в залізобетонних елементах за рівномірного і нерівномірного пошкодження [5], отримано як результат використання функції Гаусса в розрахунку методом скінчених елементів для прогнозування поширення корозії, з варіативністю розрахунку в поширенні як рівномірно так і не рівномірно.

До визначення залишкової здатності пошкоджених згинаних залізобетонних елементів з акцентуацією на балках таврового профілю звертаються в роботі [6]. Як зазначає висновок в роботі, моделювання пошкоджень згинаних залізобетонних елементів в програмних комплексах, на основі методу скінчених елементів, є шляхом до визначення залишкової несучої здатності, але це досить трудомісткий процес.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Поставлена мета: виконати дослідження впливу на міцність та деформативність пошкодження бетону в стиснутій зоні залізобетонної балки за дії навантаження.

Виконання даної мети можна розділити на наступні завдання:

- виконання випробувань залізобетонних балок без пошкодження;
- проведення досліджень залізобетонних балок пошкоджених без дії навантаження та залізобетонних балок пошкоджених при



навантаженні 0.3 від очікуваного руйнівного навантаження контрольних зразків;

- моделювання в програмному комплексі FEMAP та проведення розрахунку з використанням розрахункового апарату NX Nastran;
- аналіз та порівняння отриманих результатів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

Конструкція дослідних зразків. Залізобетонні балки виготовленні з бетонну класу С35/45 [7,8]. Об'єктом дослідження виступали залізобетонні балки, довжиною 2100 мм, з прямокутним перерізом розмірами 200×100 мм. Виготовлені зразки мають армування, у вигляді робочої розтягнутої арматури Ø14 мм, стиснутої арматура в зоні максимальної поперечної сили – Ø10 мм. Поперечне армування виконано гладкою арматурою Ø8 мм, що розміщена в приопорних зонах [9].

Методика експериментальних досліджень. Дослідження проводилось за схемою однопролітної балки, де розрахункова довжина становила $l_0=1900$ мм. Навантаження здійснювалось двома зосередженими силами розміщеними в 1/3 прольоту балки.

Розміщення кільцевих динамометрів зроблено для збільшення висоти між траверсою і дослідним зразком та можливості виконання пошкодження за дії навантаження.

Для виконання вище вказаних завдань була сформована програма досліджень (табл.1).

Маркування реалізоване наступним чином: БЕ – експериментальна контрольна балка, або БТ – балка теоретична, змодельована в програмному комплексі FEMAP; перша цифра – номер серії дослідження; друга цифра – номер дослідного зразку.

Експериментальні дослідження. Навантаження здійснювалось статичним методом, одноразово.

Залізобетонна балка першої серії була зруйнована, досягненням фізичної границі текучості арматури, яке працювало на розтяг. Фотографії випробуваних зразків зображено на рис. 1.

Оскільки в центральному перерізі в стиснутій зоні бетону відсутнє додаткове армування, зразок зруйну-

вався через настання текучості арматури і як наслідок викришування стиснутої зони та руйнування поперечного перерізу.

Експериментальний зразок 2-ї серії був пошкоджений до дії навантаження. Розміри пошкодження 20х30 мм, виконані по середині прольоту, де виникають найбільші концентрації напружень бетону при роботі на стиск.

Руйнування експериментального зразку БЕ 2.1 відбулось за рахунок досягнення фіброю бетону граничних значень ε_{cu1} , ε_{cu2} в стиснутій зоні. Результат випробуваних зразків БЕ 2.1 наведено на рис. 2.

Експериментальний зразок 3-ї серії був пошкоджений при навантаженні 0.3 від очікуваного руйнівного навантаження контрольного зразку. Розміри пошкодження ті ж самі - 20х30 мм, виконані посередині прольоту.

Руйнування експериментального взірця БЕ 3.1 відбулось за рахунок сумісного руйнування, як фібровими деформаціями бетону граничних значень ε_{cu1} , ε_{cu2} в стиснутій зоні, так і внаслідок досягнення граничних деформацій ε_{sd} в розтягнутих стрижнях арматури. Результат випробувань БЕ 3.1 відображений на рис. 3.

Теоретичні дослідження. Експериментальні зразки були змодельовані в програмному комплексі FEMAP, з заданням реальних фізико-механічних характеристик об'єктів. З метою підвищення відповідності до експериментальних даних було: задано нелінійних характеристик матеріалів; роздроблення на елементи розмірами 10х10 мм; змодельовано металеві платформи під кільцеві динамометри. Використання елементів розміром 10х10 мм зумовлене нанесенням пошкоджень кратних 10 мм. Використання нелінійних характеристик необхідне для підвищення точності розрахунку.

При проведенні теоретичного розрахунку залізобетонної балки 1-ї серії було проведено порівняння результатів. Для порівняння були взяті покази індикатора годинникового типу №1 див. рис.4,5.

Таблиця 1 - Програма експериментальних досліджень

№	Шифр дослідної балки	Серії досліджень	Опис дослідних зразків
1.	БЕ 1.1	1	контрольні зразки (без пошкодження)
2.	БТ 1.2		
3.	БЕ 2.1	2	зразки з пошкодженням до дії навантаження (пошкодження розмірами 20х30мм)
4.	БТ 2.2		
5.	БЕ 3.1	3	зразки з пошкодженням за дії навантаження (пошкодження розмірами 20х30мм)
6.	БТ 3.2		

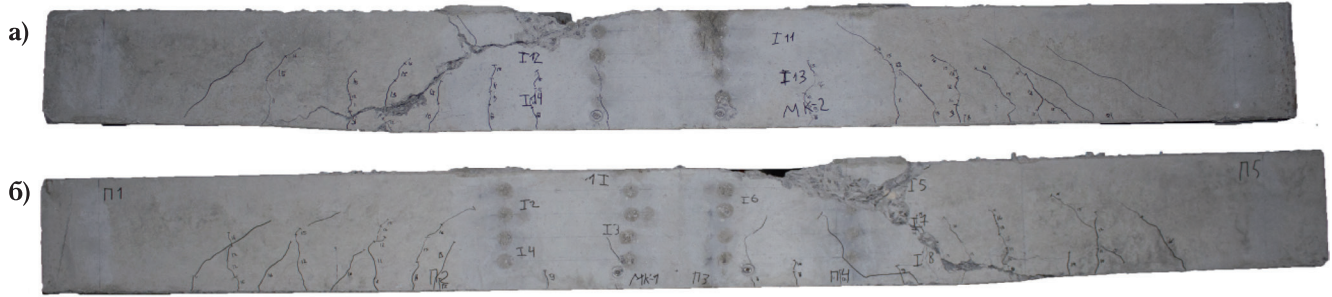


Рисунок 1 – Характер руйнування контрольних балок серії 1-ї, (а) зовнішня та (б) внутрішня сторона

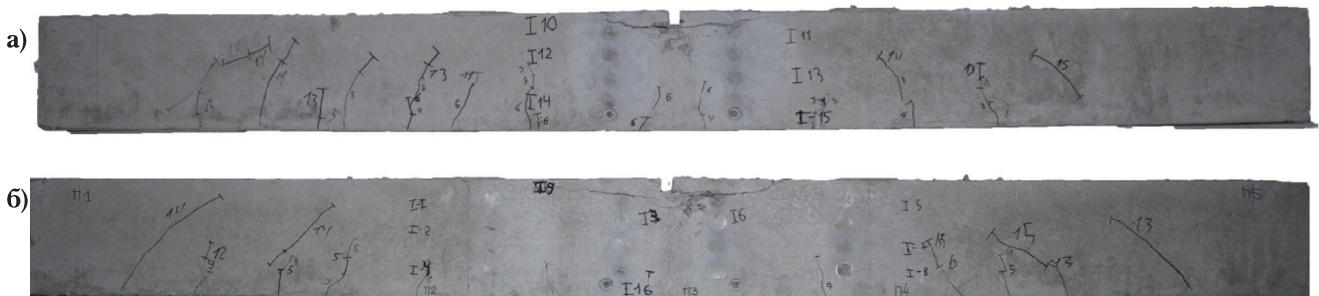


Рисунок 2 – Характер руйнування контрольних балок серії 2-ї, (а) зовнішня та (б) внутрішня сторона

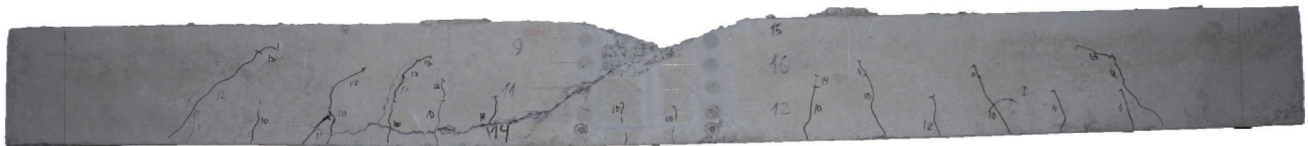


Рисунок 2 – Характер руйнування контрольних балок серії 2-ї

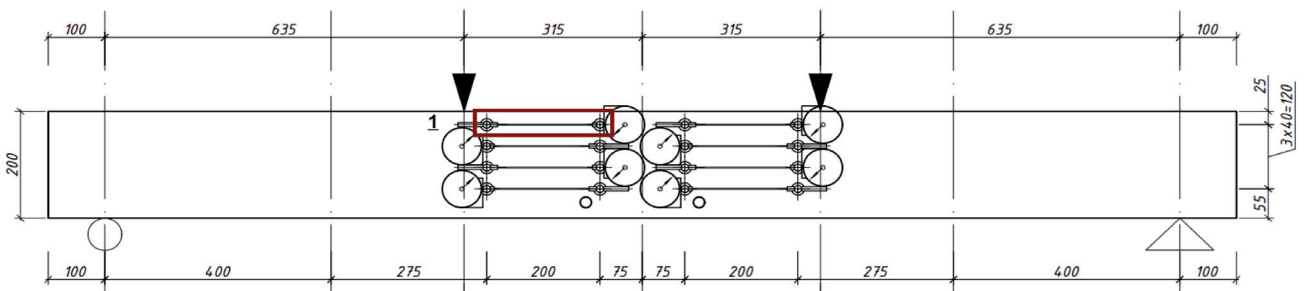


Рисунок 4 – Схема розміщення індикаторів годинникового типу на залізобетонній балці 1-ї серії

Отримання напружень бетону визначається, середнім значенням напружень елементів розміщених в діапазоні бази індикатора годинникового типу (200 мм). Для прикладу зображено напруження бетону контрольної балки за дії навантаження 8.75 кН (0.875 тс) на рис. 6.

Отриманні результати при розрахунку в програмному комплексі FEMAP з використанням розрахункового апарату NX Nastran показують задовільну розбіжність - максимальна розбіжність становить 10.1% при навантаженні 27.2 кН. В діапазоні 0...12.5 кН дії навантаження похибка варіюється від 0.1...7.6%. Зниження похибки можливе підвищенням точності розрахунку,

різними шляхами: задання більш детальних діаграм матеріалів, підвищення кількості градацій розрахунку. Оскільки найбільша похибка є задовільною, то в підвищенні точності розрахунку немає потреби. На даний період в розрахунковій моделі кількість елементів становить 306 тис.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень. Згідно діючих норм [8] критерій вичерпання несучої здатності прийнято такі умови :

- втрата рівноваги між внутрішніми і зовнішніми зусиллями;
- руйнування стиснутого бетону при досягненні фібровими деформаціями граничних значень

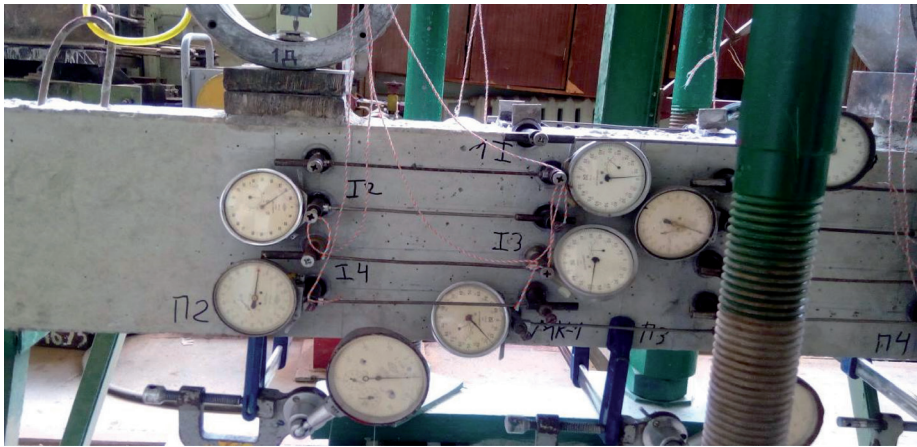


Рисунок 5 – Розміщення індикатора годинникового типу на залізобетонній балці 1-ї серії при проведенні експерименту

ϵ_{cu1} , ϵ_{cu2} або розрив усіх розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій ϵ_{ud} .

Для експериментальних зразків 1-ї серії руйнування (вичерпання несучої здатності) відбулось внаслідок досягнення армуванням граничних деформацій. Для зразків 2-ї серії руйнування відбулось внаслідок досягнення фібровими деформаціями граничних значень ϵ_{cu1} , ϵ_{cu2} . Зразки третьої серії – руйнування відбулось за рахунок сумісного руйнування, як фібровими деформаціями бетону граничних значень ϵ_{cu1} , ϵ_{cu2} в стиснутій зоні, так і розриву розтягнутих стрижнів арматури внаслідок досягнення в них граничних деформацій ϵ_{ud} .

При проведенні теоретичного розрахунку і порівнянні з балкою 1-ї серії отримано допустиму похибку в розбіжності показів. На рис. 7 зображено порівняння показів для індикатора годинникового типу №1.

відхилення, необхідно: виконати перехід 16 точкові скінченні елементи; використовувати деталізовані не лінійні діаграми фізико-механічних характеристик матеріалів; зменшення розмірів скінчених елементів.

Максимальні значення в зоні пошкодження більші в елемента пошкодженого до дії навантаження при порівнянні з елементам пошкодженим за дії навантаження (див. рис.8,9). Даний теоретичний розрахунок був здійснений за рахунок використання отриманих деформацій непошкодженого елемента за дії

Таблиця 2 - Несуча здатність та деформативність дослідних зразків

Шифр дослідної балки	Несуча здатність зразка, кНм	Значення моменту при якому знімався показ, кНм	Значення внутрішніх напружень інд.№1, МПа	Значення внутрішніх напружень інд.№5, МПа
БЕ 1.1	25.7	15.38	26.72	24.36
БТ 1.2			20.43	20.43
БЕ 2.1	20.84	15.38	24.21	29.82
БТ 2.2			20.76	20.76
БЕ 3.1	21.63	15.38	24.2	26.57
БТ 3.2			20.55	20.55

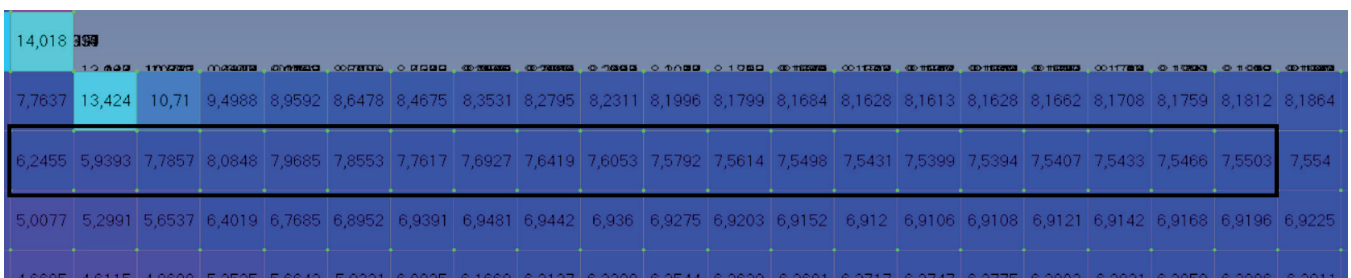


Рисунок 6 – Зразок результату розрахунку балки 1-ї серії, в зоні бази №1 індикатора годинникового типу (200 мм)

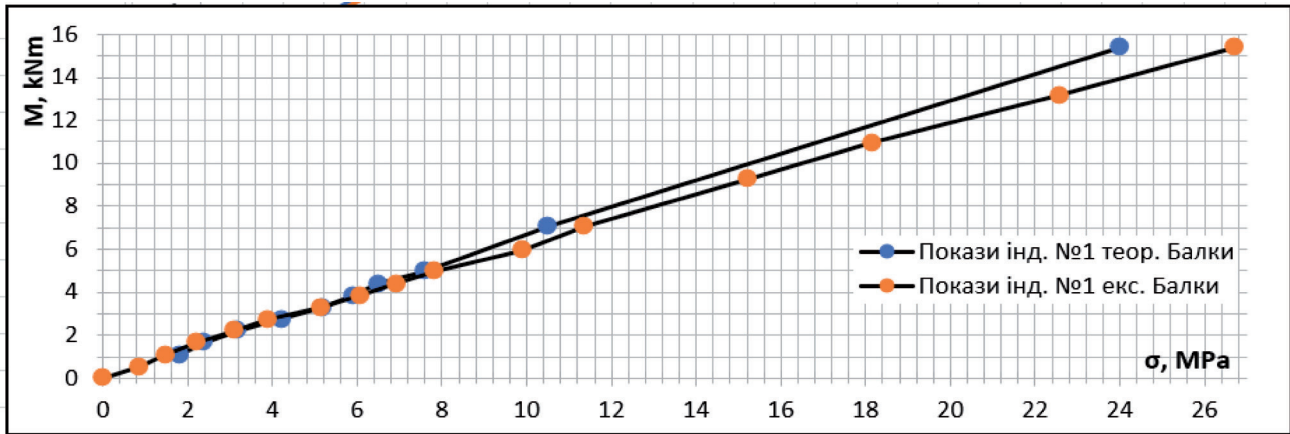


Рисунок 7 – Графік зміни внутрішніх напружень від навантаження, з порівнянням моделювання і експериментальних даних

навантаження при якому було здійснено пошкодження. З подальшим здійсненням пошкодження і заданням навантаження, та отриманих деформацій від розрахунку.

Дослідження показало приріст несучої здатності при пошкодженні елемента при навантаженні 0.3 від

очікуваного руйнівного навантаження контрольного зразка. Втрата несучої здатності при пошкодженні до дії навантаження в порівнянні зі зразком без пошкодження становить 18.9%.

Порівняння експериментальних і теоретичних досліджень, показали доцільність використання програмного комплексу FEMAP для теоретичного розрахунку.

Даний дослід показав не перевищення допустимого відхилення, без значного підчищення точності розрахунку. Однак можливе зменшення відсотка відхилення в показах, при необхідності, за рахунок ускладнення розрахунку.

17,913	16,518	14,703	12,373	9,5515	6,1829	2,1835	0,5154	0,5154	2,1835	6,1829	9,5515	12,373	14,703	16,518	17,913	
17,61	17,104	16,641	16,281	15,868	14,81	11,88	3,0574	3,0574	11,88	14,81	15,868	16,281	16,641	17,104	17,61	
17,763	18,06	18,614	19,429	20,374	21,184	22,422	23,301	23,301	22,422	21,184	20,374	19,429	18,614	18,06	17,763	
17,74	18,537	19,626	21,009	22,659	24,732	27,595	30,98	37,478	37,478	30,98	27,595	24,732	22,659	21,009	19,626	17,74
17,239	18,247	19,498	20,986	22,708	24,721	26,751	28,232	29,206	29,206	28,232	26,751	24,721	22,708	20,986	19,498	17,239
16,189	17,196	18,354	19,62	20,919	22,04	22,421	21,328	19,18	19,18	21,328	22,421	22,04	20,919	19,62	18,354	16,189
14,648	15,526	16,451	17,341	18,045	18,278	17,647	16,068	14,547	14,547	16,068	17,647	18,278	18,045	17,341	16,451	14,648
12,731	13,427	14,083	14,599	14,824	14,556	13,663	12,338	11,25	11,25	12,338	13,663	14,556	14,824	14,599	14,083	12,731

Рисунок 8 – Результати моделювання БТ 2.2 в зоні пошкодження

18,405	16,974	15,108	12,711	9,8079	6,348	2,2556	0,5301	0,5301	2,2556	6,348	9,8079	12,711	15,108	16,974	18,405	
18,075	17,564	17,094	16,725	16,296	15,194	12,171	3,1745	3,1745	12,171	15,194	16,296	16,725	17,094	17,564	18,075	
18,222	18,54	19,12	19,964	20,934	21,756	22,973	23,812	23,812	22,973	21,756	20,934	19,964	19,12	18,54	18,222	
18,192	19,028	20,162	21,597	23,302	25,437	28,351	31,883	37,463	37,463	31,883	28,351	25,437	23,302	21,597	20,162	18,192
17,675	18,73	20,036	21,586	23,379	25,472	27,607	29,233	30,677	30,677	29,233	27,607	25,472	23,379	21,586	20,036	17,675
16,597	17,654	18,867	20,195	21,56	22,754	23,212	22,152	19,896	19,896	22,152	23,212	22,754	21,56	20,195	18,867	16,597
15,016	15,942	16,917	17,859	18,614	18,89	18,27	16,636	15,043	15,043	16,636	18,27	18,89	18,614	17,859	16,917	15,016
13,053	13,791	14,488	15,043	15,298	15,041	14,126	12,747	11,605	11,605	12,747	14,126	15,041	15,298	15,043	14,488	13,053

Рисунок 9 – Результати моделювання БТ 3.2 в зоні пошкодження

ВИСНОВКИ

1. На теперішній час залишається актуальним дослідження залізобетонних елементів з акцентом на пошкодженнях в стиснутій зоні бетону.

2. Дослідження показали вплив рівня навантаження і типу пошкодження на несучу здатність. Пошкодження при навантаженні рівному 0.3 від їх несучої здатності контрольного зразка, демонструє приріст несучої



здатності в порівнянні з аналогічним пошкодженням до дії навантаження.

3. Виконанні теоретичні дослідження демонструють ефективність використання програмного комплексу FEMAP для моделювання досліджень та розрахунку. Програмний комплекс FEMAP надає варіативність при зменшенні відхилення теоретичних і експериментальних.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Вашкевич Р.В., Бліхарський Я.З. Напружено-деформований стан залізобетонних балок з місцевими корозійними пошкодженнями. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2011. № 697: Теорія і практика будівництва. С. 36–41.
2. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України, 1997.
3. Воскобійник О.П., Кітаєв О.О., Макаренко Я.В., Бугаєнко Є.С. Експериментальні дослідження залізобетонних балок з дефектами та пошкодженнями, які викликають косий згин. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2011. 1. 87-92.
4. Клименко Є.В., Чернева О.С., Довгань О.Д. Вплив факторів пошкоджених таврових балок на величину їх руйнівного навантаження. Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк. 2013. № 43. С. 94-97.
5. Zhao Y., Karimi A. R., Wong H. S., Hu B., Buenfeld N. R., Jin, W. Comparison of uniform and non-uniform corrosion induced damage in reinforced concrete based on a Gaussian description of the corrosion layer. Corrosion Science. 2011. 53.9. P.2803-2814.
6. Клименко Е.В. Остаточная несущая способность поврежденных железобетонных балок таврового профиля. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2014. Вип. 54. С. 159-163.
7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-06-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. 71 с.
8. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. V, 118 с.
9. Lobodanov M.; Vegera P.; Blikharsky Z. Planning Experiment for Researching Reinforced Concrete Beams with Damages. International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów. Springer, Cham, 2019. p. 243-250.

REFERENCES

1. Blikharsky, Z. Ya., Khmil, R. Ye., Vashkevich, R. V., & Blikharsky, Ya. Z. (2011). Stress-strain state of reinforced concrete beams with local corrosion damage. Reporter of Lviv Polytechnic National University, 697, 36–41.
2. Normative documents on inspections, certification, safe and reliable operation of industrial buildings and structures.(1997). State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine and the State Labor Inspectorate of Ukraine.
3. Voskobiynyk, O.P, Kitaev, O.O, & Makarenko, Ya. V. et al (2011). Experimental studies of reinforced concrete beams with defects and damage that cause oblique bending. Collection of research papers of Poltava National Technical University named after Yu. Kondratyuk. Industrial engineering, Construction, 1, 87-92.
4. Klimenko, E.V., Cherneva, E.S., Dovgan, A.D., & Arez Mohammed, I. (2013). Influence of factors of damage of T-beams on the value of their breaking load. Inter-university collection "Naukovi notatky", 43, 94-97.
5. Zhao, Y., Karimi, A.R., & Wong, H.S. et al. (2011). Comparison of uniform and non-uniform corrosion induced damage in reinforced concrete based on a Gaussian description of the corrosion layer. Corrosion Science, 53(9), 2803-2814.
6. Klimenko, E.V., Cherneva, E.S., & Korol, N.D., et al. (2014). Residual bearing capacity of damaged reinforced concrete T-profile beams. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 54, 157-163.
7. Structures of buildings and facilities. Concrete and reinforced concrete structures. General (2011). DBN V.2.6-98:2009 from 1st June 2011. Kyiv: DP "Ukrarchbudinform".
8. Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced concrete structures with heavy weight structural concrete. Design rules. (2011). DSTU B.V.2.6-156:2010 from 1st June 2011. Kyiv: DP "Ukrarchbudinform".
9. Lobodanov, M., Vegera, P., & Blikharsky, Z. (2019). Planning Experiment for Researching Reinforced Concrete Beams with Damages. Proceedings from International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów. Springer: Cham, 243-250.

Стаття надійшла до редакції 11.08.2020 року