

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОШКОДЖЕННЯ СТИСНУТОЇ ЗОНИ БЕТОНУ В ЗГИНАННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ З НЕДОСТАТНІМ АРМУВАННЯМ

¹Лободанов М.М., аспірант,
maksym.m.lobodanov@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-5282-6865
¹Вегера П.І., к.т.н., асистент,
pavlo.i.vehera@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-3437-1825
¹Бліхарський З.Я., д.т.н., професор,
zinovii.y.blikharskyi@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4823-6405
¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

Анотація. В будівельній сфері є типовим випадком пошкодження елементів на різних етапах, пошкодження: при транспортуванні, експлуатації, монтажі та інші. При деяких обставинах заміна елемента не завжди можлива через різні фактори: заміна спричиняє значні фінансові втрати, логістичні та/або інші. Через ці причини зростає доцільність в дослідженні впливу пошкодження на несучу здатність залізобетонних елементів. Дія пошкодження в залежності від його типу має значну варіативність. У випадку наявності дефекту в залізобетонному елементі в поєднанні з пошкодженням, складність дослідження даного елемента значно зростає. В даній статті розглянуто: дослідження за тематикою пошкоджених залізобетонних елементів на теренах України та закордоном; наведена розроблена методика випробувань згинаних залізобетонних елементів з пошкодженням бетону в стиснутій зоні з недостатнім армуванням; відображено вплив на деформативність та несучу здатність варіативності пошкодження на дослідний зразок з недостатнім армуванням; виконанні висновки по результату дослідження. В статті відображено вплив зміни геометричного параметру пошкодження (ширина пошкодження – 20 мм та 80 мм), на деформативність та несучу здатність дослідних зрізів. Деформативність розглянута по висоті перерізу елемента в площинні максимального згинального моменту.

Ключові слова: залізобетонні балки, міцність, пошкодження, дефекти.

Вступ. З кожним роком зростає тенденція використання будівель і споруд в нових цілях, що призводить до потреби зміни конструктивних рішень. В таких випадках, при обстеженнях виникає потреба в аналізі несучої здатності пошкоджених конструкцій. Пошкодження може відбуватись при різних етапах використання елемента в будівництві: перевезені, монтажі, експлуатації та інших. На даний період згідно діючих норм залишкова несуча здатність визначається методом еквівалентного елемента. Таким чином, визначається міцність зменшеного поперечного перерізу (відкидається частина з пошкодженням). Даний розрахунок виключає з врахування зони, які сприймають навантаження, але розміщені в площинні пошкодження.

На теперішній час дослідження впливу пошкоджень на залишкову міцність елементів постійно збільшуються, з огляду на їх доцільність. Але питання залишкової несучої здатності пошкодженого залізобетонного елемента в значній мірі не розкрито, що обумовлено великою кількістю варіативності впливу різних пошкоджень та дефектів, а також їх комбінацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результатом вивчення і дослідження питання впливу пошкодження на залізобетонний елемент є ряд наукових праць. Вплив відносного прольоту зрізу бетону в одно пролітних балках розглянуто в роботі [1], змінним фактором була глибина пошкодження, кут пошкодження та величина прогону зрізу. Критичним значенням, що впливає на деформативність бетону та армування є величина прогону зрізу. При ідентичних комбінаціях факторів (глибина пошкодження та кут

пошкодження) відсоткове зростання граничних деформацій арматури доходило до 174%, при зміні величини відносного прольоту зрізу.

Дослідження впливу пошкодження в ребристих плитах [2] також демонструє значний вплив дефектів на деформативність бетону та арматури і їх сумісної роботи. Вплив втрати тіла бетону та корозія арматури до 50% показує ефект значного зростання напружень розтягу арматури, причому більше ніж у 2 рази. Як результат, в роботі запропонували виконувати підсилення сталевим профілем.

Також слід відзначити інші роботи в напрямку впливу пошкодження на залізобетонні елементи: Воскобійник О.П. [3], де відбувається акцентування на сумісному впливу дефекту і пошкодження з утворенням косоного згину; Чередніков В.М [4] в роботі якого розглянуто результат моделювання кутового пошкодження в колоні, де значного ефекту дають пошкодження втрати 2,5% від поперечної площі бетону, відбувається зростання напружень бетону на 10% та арматури на 43%; а при пошкодженні у вигляді втрати 10% від поперечного перерізу колони призводить до зростання напружень в бетоні на 27% та арматурі на 58%; розроблення методики розрахунку пошкоджень бетону в стиснутій зоні в наслідок експлуатації, в залізобетонних колонах з косим згином в роботі [5]; формування методики дослідження пошкоджених залізобетонних колон круглого перерізу з використанням бетонів високого класу розглянуто в праці [6]; в роботі Клименко Є.В. проводив дослідження впливу пошкодження таврової балки, як комбінацію трьох різних факторів пошкодження [7] з визначенням їх пріоритетності; дослідження впливу пошкодження на несучу здатність вузлів з'єднання залізобетонної колони та балки, з формуванням методики дослідження та розрахунку представлено в роботі [8].

Мета роботи. Провести експериментальні дослідження впливу пошкодження в стиснутій зоні бетону на несучу здатність залізобетонних балок з дефектом у вигляді недостатнього армування.

Методи дослідження. Методом дослідження є експериментальні випробування залізобетонних балок з дефектом з виконанням пошкодження до дії навантаження. Пошкодження виконується в місці концентрацій напружень на стиск бетону.

Результати досліджень. Дослідні залізобетонні зразки прямокутного перерізу виготовленні розмірами 2100×200×100 мм. Навантаження здійснюється двома зосередженими силами.

Армування виконане у вигляді робочого армування Ø12 мм, стиснутої арматури в зоні максимальної поперечної сили – Ø10 мм. Поперечне армування виконано гладкою арматурою Ø8 мм, яка розміщена в приопорних зонах. Поперечне армування здійснено з значним запасом, за рахунок збільшення розрахункового поперечного перерізу армування та зменшення кроку між стержнями, клас армування А500С, клас бетону С35/45 (рис. 1).

Пошкодження виконувалось до прикладання навантаження та в двох варіантах: перший – пошкодження розміром 20×30 мм розміщене посередині стиснутої зони, другий – розмірами 80×30 мм (рис. 2). Обрані варіанти обумовлені необхідністю встановити залежність між точковим пошкодженням стиснутої зони бетону (варіант 1) та поширеним у вигляді широкого пошкодження (варіант 2). Оскільки згідно чинних норм [9], визначення несучої здатності пошкодженого елемента виконується методом еквівалентного елемента, згідно даної методики критичним фактором є висота пошкодження, а ширина пошкодження не враховується.

Дефект – це недостатня кількість робочого армування, що визначено згідно розрахунку за діючими нормами. Такий тип дефекту може виникнути внаслідок розвитку корозії в розтягнутій арматурі.

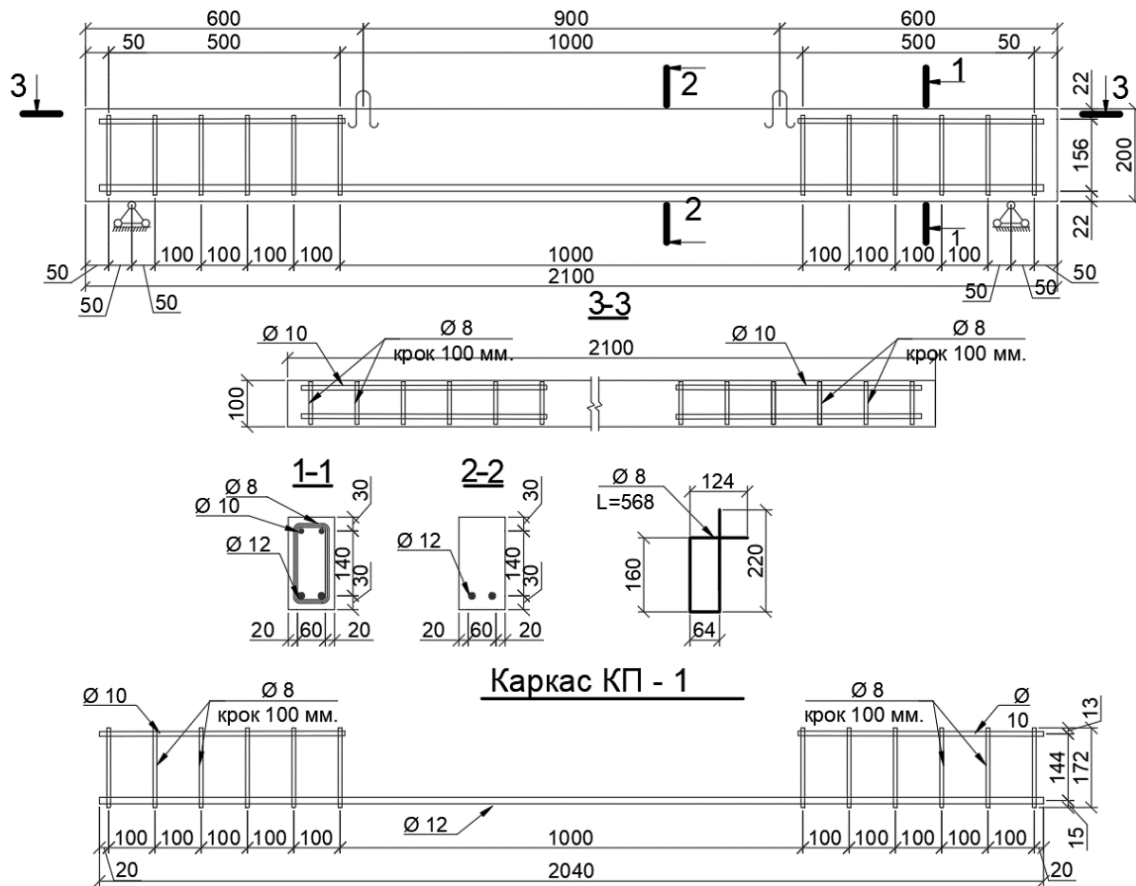


Рис. 1. Загальний вигляд

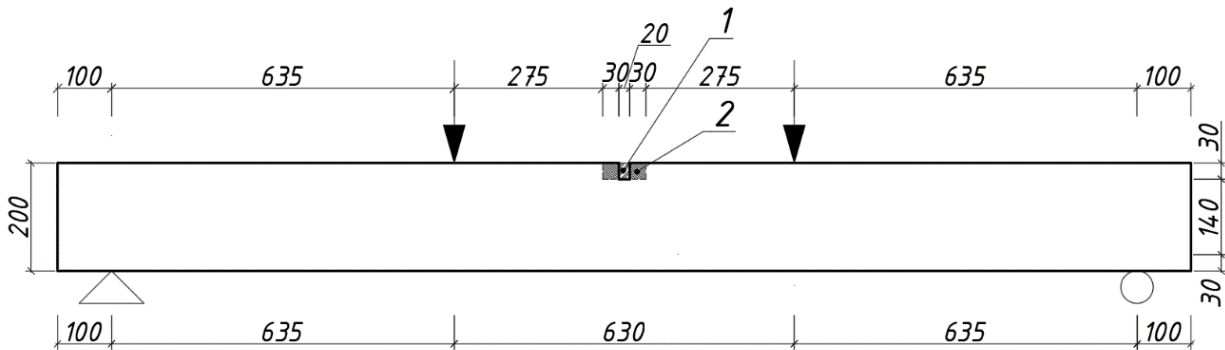


Рис. 2. Схематичне відображення виконання пошкоджень:

1 – пошкодження виконане розмірами 20×30 мм; 2 – пошкодження виконане розмірами 80×30 мм

Розміщення вимірювальних приладів обумовлено зняттям показів в центральному перерізі. Індикатори І1...І5 відображають зміну деформацій в бетоні по висоті елемента. Отримані дані з них надають інформацію про безпосередню зміну розподілу зон стиску і розтягу в бетоні із реальною зміною висоти стиснутої зони (рис. 3, 4). Індикатор І6 відображає зміну деформацій від навантаження в арматурі, що працює на розтяг.

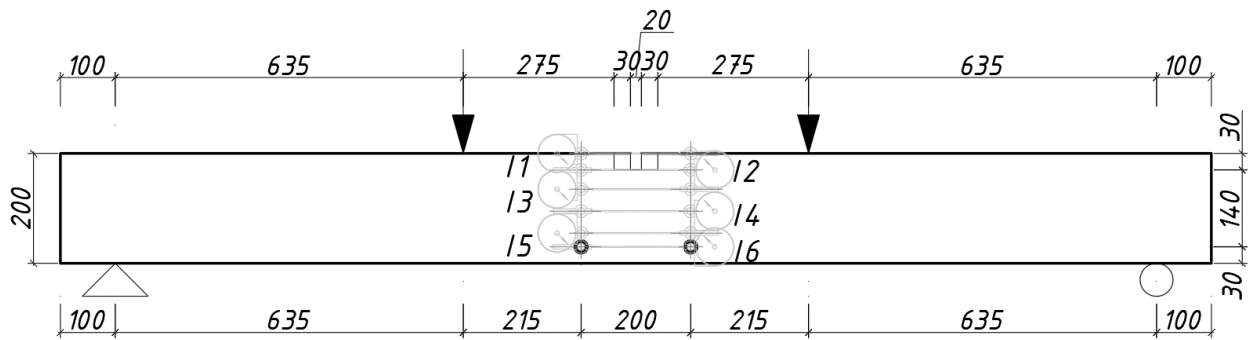


Рис. 3. Схема розміщення індикаторів годинникового типу в зоні максимальних деформацій



Рис. 4. Розміщення вимірювальних приладів на дослідному зразку під час виконання експерименту

Експериментальні зразки поділяються на три серії, які маркуються наступним чином: БК – балки контрольні; БП.20 – балки з пошкодженням 20×30 мм в стиснутій зоні; БП.80 – балки з пошкодженням 80×30 мм в стиснутій зоні.

Для аналізу зміни відносних деформацій від навантаження, для стиснутого бетону розглядаємо значення I_2 . В той же час I_1 не може слугувати контрольним приладом вимірювання деформацій стиснутого бетону, через відсутність в площині бази індикатора частини бетону. Це унеможливує перерозподіл, який присутній в контрольній балці. Таким чином I_1 демонструє деформації елемента в зоні пошкодження.

Графік на рис. 5 відображає близькі деформації пошкоджених елементів при порівнянні з контрольним зразком. Відсоткова різниця у відносних деформаціях між БП.20 і БП.80 не перевищує 10%. При порівнянні відносних деформацій пошкоджених елементів з контрольними при згинальному моменті $M=13,97$ кНм, в бетонні значення більші на 45,9%, в арматурі на 45,4%.

Значне зростання деформацій обумовлено сумісним впливом пошкодження (відсутністю частини стиснутої зони) і дефекту (недостатня площа розтягнутої арматури) на несучу здатність елемента. Дефект призвів до ранніх утворень нормальних тріщин в зоні чистого згину, за рахунок значного деформування розтягнутої арматури відносно бетону. Нормальні тріщини, що почали рано поширюватися (через недостатнє розтягнуте армування), значно зменшили висоту стиснутої зони бетону (рис. 6).

На рис. 6. відображено значне розкриття нормальних тріщин при досягненні фізичного руйнування, та утворення сколів з напрямком від нижньої площини пошкодження до місць прикладання навантаження.

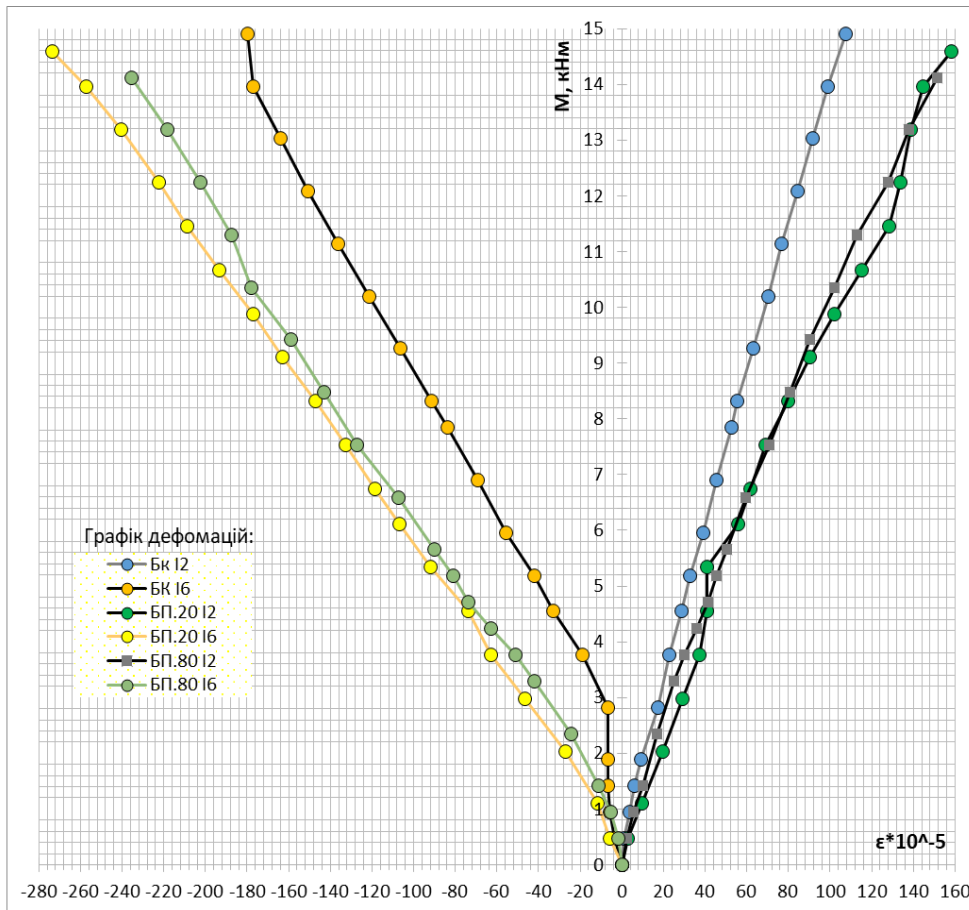


Рис. 5. Графік відносних деформації арматури (зліва) та стиснутого бетону (справа)

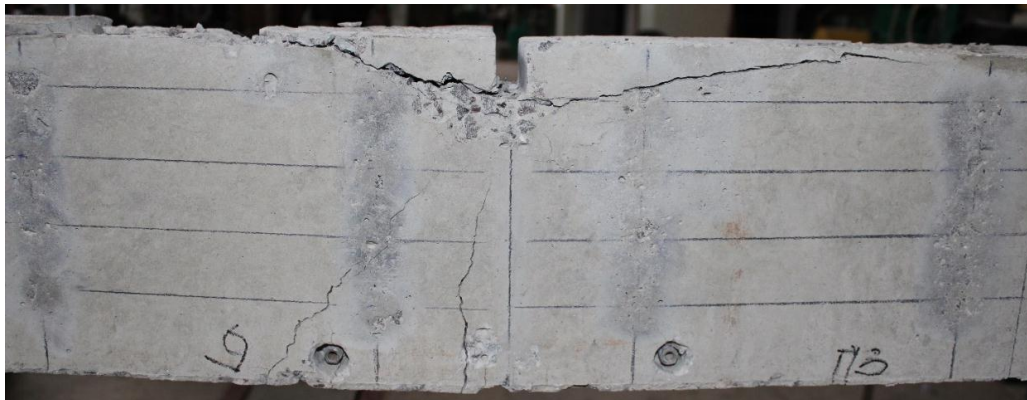


Рис. 6. Характер руйнування залізобетонних балок

При порівнянні зміни відносних деформацій бетону з збільшенням навантаження, з прив'язкою по висоті балок БП.20 і БП.80 (рис. 7): на висоті 175 мм зафіксовано різницю до 7% при етапах навантаження $M=4,6 \dots 12,1$ кНм; із зменшенням висоти розміщення індикатор з 175 мм знижується до 55 мм, різниця в показах зростає; на висоті 55 мм при $M=4,6$ кНм максимальні відносні деформації розтягу більші на 31,3%, $M=7,8$ кНм на 121,8%, $M=12,1$ кНм на 98,85%.

Зміна реальної висоти стиснутої зони "x" при пошкодженні розмірами 20×30 мм є подібна до контрольного зразку: на 1-ій стадії напружено-деформованого стану відбувається різке зменшення x; протягом наступної стадії зміна x стабілізується; при закінченні 2-ї стадії відбувається різке зниження. В зразках з пошкодженням 80×30 мм, реальна висота стиснутої зони має різке зменшення в 1-ій стадії напружено-деформованого стану, з 2-ї по 3-тю стадію відбувається поступове зменшення x.

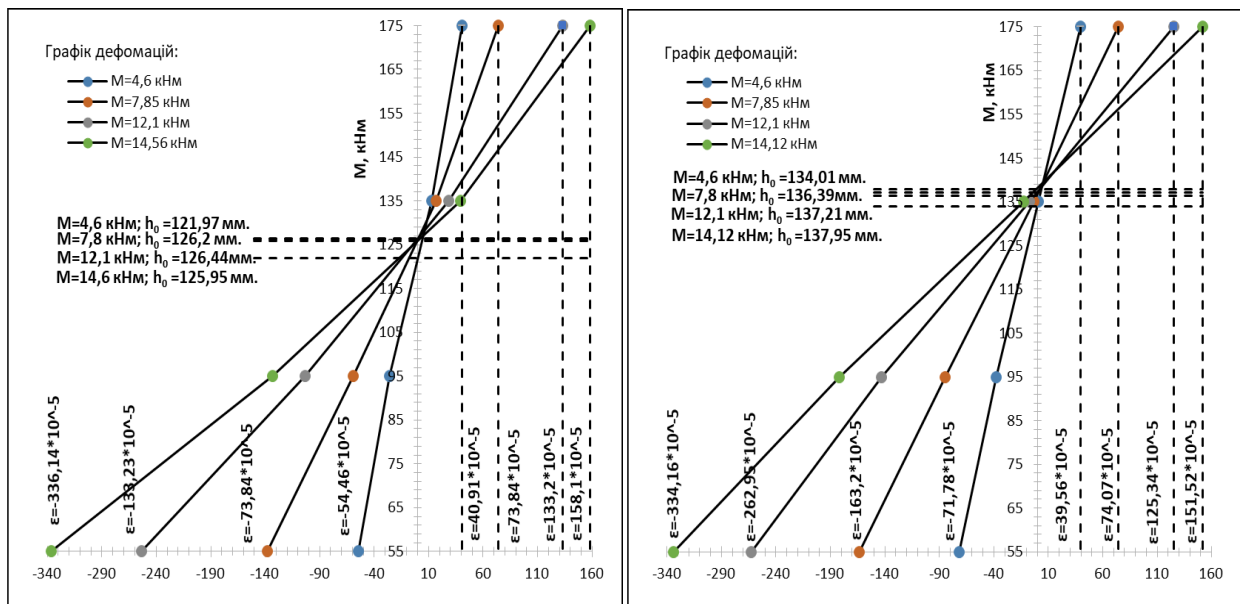


Рис. 7. Графік відносних деформацій бетону в зоні чистого згину БП.20 (зліва) та БП.80 (справа)

Зниження несучої здатності відносно БК, в БП.20 на 12,83% та в БП.80 на 17,97%. Дані покази демонструють вплив варіативності зміни ширини пошкодження без зміни висоти. Це обумовлення збільшенням зони в стиснутій зоні бетону, яка не сприймає навантаження, відповідно відбувається перерозподіл навколо пошкодження, з досягненням критичних деформацій біля граней пошкодження – з утворенням сколу.

Основні висновки:

1. Аналіз наукових робіт за напрямком дослідження впливу пошкоджень та дефектів на залізобетонні елементи демонструють: значний вплив варіативності геометричних характеристик пошкодження та їх розміщення на несучу здатність залізобетонних елементів; підвищення складності виконання теоретичних та експериментальних досліджень роботи пошкоджених залізобетонних елементів при врахуванні композитних властивостей залізобетонних елементів; необхідність в формуванні окремої методики досліджень та розрахунку при дослідженні різних типів пошкоджень та дефектів.

2. На основі аналізу наукових досліджень, сформовано методику випробувань. Висота пошкодження 30 мм, пошкодження 1-го варіанту має ширину 20 мм, 2-го – 80 мм. Обрані варіанти обумовлені необхідністю встановити залежність між точковим пошкодженням стиснутої зони бетону (варіант 1) та поширеним у вигляді широкого пошкодження (варіант 2).

3. Експериментальні дослідження демонструють незначне відхилення до 10% зміни відносних деформацій арматури та стиснутого бетону в зоні пошкодження, при порівнянні 1-го та 2-го варіанта пошкодження. Але відносні деформації бетону по модулю, з прив'язкою по висоті балок при зміні навантаження в 1-го варіанта пошкодження є значно нижчі чим в 2-го: за M=4,6 кНм максимальні відносні деформації розтягу в 2-го варіанта більші на 31,3%, M=7,8 кНм на 121,8%, M=12,1 кНм на 98,85%. При порівнянні відносних деформацій пошкоджених елементів з контрольними зразками при згинальному моменті M=13,97 кНм, в бетонні більші на 45,9%, в арматурі на 45,4%.

4. Залежність зміни реальної висоти стиснутої зони в залежності від стадії напружено-деформованого стану в зразках з пошкодженням 1-го варіанта є ідентична до контрольного зразка. Дослідні балки з пошкодженням 2-го варіанту показали поступове зниження реальної висоти стиснутої зони в 2-ій стадії напружено-деформованого стану без стабілізації, як в контрольних так і в зразках з пошкодженням 1-го варіанту. Збільшення ширини пошкодження з 20 мм до 80 мм в стиснутій зоні бетону призводить до зменшення реальної висоти стиснутої зони відносно БК та БП.20.

5. Пошкодження знижує несучу здатність залізобетонного елемента з залежністю не тільки висоти заглиблення 30 мм, а й ширини пошкодження, зниження несучої здатності відносно БК, в БП.20 на 12,83% та в БП.80 на 17,97%. Розвиток досліджень роботи пошкоджених згинаних залізобетонних елементів з комбінацією різних факторів, дає перспективи підвищення точності визначення несучої здатності вище вказаних елементів, що веде до скорочення витрат при вирішенні конструктивних задач.

Література

1. Клименко Є.В., Полянський К.В. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних балок. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2019, Вип. 76. С. 24-30.
2. Гасенко А. В., Кириченко В. А., Крупченко О. А. Чисельні дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних ребристих плит покриття. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво*. 2013. Вип. 4 (1). С. 78-83.
3. Воскобийник 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. Вип. 1. С. 87-92.
4. Клименко Є.В., Чернева О.С., Арез М.І. Характер руйнування пошкоджених таврових балок. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*. 2013. Вип. 755. С. 179-183.
5. Павліков А.М., Гарькава О.В., Бариляк Б.А. Визначення міцності залізобетонних колон, що зазнали експлуатаційних пошкоджень. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. 76. С. 70-77.
6. Клименко Є.В., Орешкович М. До питання вивчення роботи стиснутих пошкоджених залізобетонних елементів круглого перерізу. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*. 2013. Вип. 755. С. 173-178.
7. Клименко Е.В., Чернева Е.С., Арез М.И. К вопросу о напряженно-деформированном состоянии поврежденных железобетонных балок таврового сечения. *Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2013. Вип. 25. С. 308-312.
8. Altoontash Arash. Simulation and damage models for performance assessment of reinforced concrete beam-column joints. Diss. Stanford university, 2004.
9. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. [Чинний від 2011-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 97 с. (Національний стандарт України).

References

- [1] Ye.V. Klymenko, K.V. Polianskyi, "Eksperymentalni doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu poshkodzhennykh zalizobetonnykh balok", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 76, pp. 24-30, 2019.
- [2] A.V. Hasenko, V.A. Kyrychenko, O.A. Krupchenko, "Chyselni doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu poshkodzhennykh zalizobetonnykh rebrystyx plyt pokryttia", *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, vol. 4 (1), pp. 78-89, 2013.
- [3] O.P. Voskobiinyk, O.O. Kitaiev, Ya.V. Makarenko, Ye.S. Buhaienko, "Eksperymentalni doslidzhennia zalizobetonnykh balok z defektamy ta poshkodzhenniamy, yaki vyklykaiut kosyi zghyn", *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Ser.: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, vol. 1, pp. 87-92, 2011.

- [4] Ye.V. Klymenko, O.S. Chernieva, M.I. Arez, "Kharakter ruinuvannia poshkodzhennykh tavrovykh balok", *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhniky. Teoriia i praktyka budivnytstva*, vol. 755, pp. 179-183, 2013.
- [5] A.M. Pavlikov, O.V. Harkava, B.A. Baryliak, "Vyznachennia mitsnosti zalizobetonnykh kolon, shcho zaznaly ekspluatatsiinykh poshkodzhen", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 76, pp. 70-77, 2019.
- [6] Ye.V. Klymenko, M. Oreshkovych, "Do pytannia vyvchennia roboty stysnutykh poshkodzhennykh zalizobetonnykh elementiv kruhloho pererizu", *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhniky. Teoriia i praktyka budivnytstva*, vol. 755, pp. 173-178, 2013.
- [7] Klymenko Ye.V., Cherneva E.S., M.Y. Arez, "K voprosu o napryazhenno-deformirovannom sostoyanii povrezhdennykh zhelezobetonnykh balok tavrovogo secheniya", *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, vol. 25, pp. 308-312, 2013.
- [8] Altoontash Arash. Simulation and damage models for performance assessment of reinforced concrete beam-column joints. Diss. Stanford university, 2004.
- [9] DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia proektuvannia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ СЖАТОЙ ЗОНЫ БЕТОНА В ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С НЕДОСТАТОЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

¹Лободанов М.М., аспирант,
maksym.m.lobodanov@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-5282-6865

¹Вегера П.И., к.т.н., ассистент,
pavlo.i.vehera@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-3437-1825

¹Блихарский З.Я., д.т.н., профессор,
zinovii.y.blikharskyi@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4823-6405

¹Національний університет «Львівська політехніка»
ул. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина

Аннотация. С каждым годом растет тенденция использования зданий и сооружений в новых целях, что приводит к необходимости изменения конструктивных решений. В таких случаях, при обследованиях возникает потребность в анализе несущей способности поврежденных конструкций. Повреждение может происходить при различных этапах использования элемента в строительстве: транспортировке, монтаже, эксплуатации и т.п. На данный период, согласно действующих норм, остаточная несущая способность определяется методом эквивалентного элемента. Таким образом, определяется прочность уменьшенного поперечного сечения (откидывается часть с повреждением). Данный расчет исключает из учета зоны, которые воспринимают нагрузки, но размещены в плоскости повреждения.

В настоящее время исследования влияния повреждений на остаточную прочность элементов постоянно увеличиваются, учитывая их целесообразность. Исследования в большей степени направленные на типичные элементы, такие как балки и колонны. Композиционные свойства железобетонных элементов увеличивают значительно количество факторов, которые необходимо учитывать при выполнении экспериментальных и теоретических исследований по данному направлению. Сами повреждения в зависимости от их типа и характеристик, несут разный эффект на прочность элемента. Также есть необходимость в учете дополнительных вариаций внешних воздействий на элемент кроме повреждения, таких как: изменении уровня нагрузки, наличие дефектов, изменение расчетной схемы элемента вследствие воздействия внешних факторов и т.п. Таким образом, приоритетно является в первую очередь исследования идеализированных повреждений, с последующим использованием данной базы наработок для исследований данного повреждения с дополнительными факторами.

В данной статье рассмотрены: исследования по тематике поврежденных железобетонных элементов на территории Украины и за рубежом; приведена разработанная методика испытаний сгибания железобетонных элементов прямоугольного сечения с повреждением бетона в сжатой зоне с недостаточным армированием, с вариативностью в изменении ширины повреждения 20 и 80 мм с высотой повреждения 30 мм; отражено влияние на деформативность и несущую способность вариативности повреждения в исследуемом образце с недостаточным армированием; рассмотрено влияние вариативности повреждения на изменение реальной высоты сжатой зоны от уровня нагрузки; сделаны выводы по результатам исследования.

Ключевые слова: железобетонные балки, прочность, повреждения, дефекты.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DAMAGE OF THE COMPRESSED CONCRETE ZONE IN BENDING RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH INSUFFICIENT REINFORCEMENT

¹Lobodanov M.M., PG student,
maksym.m.lobodanov@lpnu.ua, ORCID 0000-0001-5282-6865

¹Vehera P.I., PhD, Assistant,
pavlo.i.vehera@lpnu.ua, ORCID 0000-0002-3437-1825

¹Blikharskyi Z.Y., Doctor of Engineering, Professor,
zinovii.y.blikharskyi@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-4823-6405

¹Lviv National Polytechnic University
Bandera st., 12, Lviv, 79013, Ukraine

Abstract. The tendency to use buildings and structures for new purposes is growing every year, which leads to the need to change constructive solutions. In such cases, during inspections, there is a need to analyze the bearing capacity of damaged structures. Damage can occur at various stages of the use of an element in construction: transported, installation, operation, and others. For this period, according to the current standards, the residual bearing capacity is determined by the method of the equivalent element. Thus, the strength of the reduced cross-section is determined (the damaged part is folded back). This calculation excludes from the consideration the zones that perceive the loads, but are located in plane damage.

Currently, studies of the effect of damage on the residual strength of elements are constantly increasing, taking into account their expediency. Research is more focused on typical elements such as beams and columns. The compositional properties of reinforced concrete elements significantly increase the number of factors that must be taken into account when performing experimental and theoretical studies in this area. The damage itself, depending on their type and characteristics, has a different effect on the strength of the element. There is also a need to take into account additional variations in external influences on the element in addition to damage, such as: change in the load level, the presence of defects, change in the design scheme of the element due to external factors and others. Thus, the priority is, first of all, the study of idealized injuries, with the subsequent use of this base of developments for the study of this damage with additional factors.

This article discusses: research on damaged reinforced concrete elements in Ukraine and abroad; the developed test methodology for bending reinforced concrete elements of rectangular cross-section with damage to concrete in a compressed zone with insufficient reinforcement, with variability in changing the width of damage of 20 and 80 mm with a height of damage of 30 mm is presented; the influence of variability of damage in research specimens with insufficient reinforcement on deformability and bearing capacity is reflected; the influence of damage variability on the change in the real height of the compressed zone from the load level is considered; implementation of conclusions on the result of the study.

Keywords: reinforced concrete beams, strength, damage, defects.

Стаття надійшла до редакції 5.01.2021