

УДК 624.012.25

ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ НЕРОЗРІЗНИХ КОМІНОВАНО-АРМОВАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ІЗ РІЗНИМИ ТИПАМИ АРМУВАННЯ СТАЛЕВИМИ ФІБРАМИ

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НЕРАЗРЕЗНЫХ КОМБИНИРОВАННО-АРМИРОВАННЫХ БАЛОК С РАЗНЫМИ ТИПАМИ АРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫМИ ФИБРАМИ

CRACK-RESISTANCE OF A CONTINUOUS COMBINED-REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DIFFERENT TYPES OF STEEL FIBER REINFORCEMENT

Андрійчук О.В., к.т.н., доцент (ORCID 0000-0002-6275-097X), Нінічук М. В., аспірант (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк).

Андрійчук О.В., к.т.н., доцент, Нінічук М. В., аспірант (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк).

Andriichuk O.V., Ph.D., associate professor, Ninichuk M., postgraduate student (Lutsk State Technical University, Lutsk).

В праці наведені результати експериментальних досліджень тріщиностійкості нерозрізних комбіновано-армованих залізобетонних балок з різними типами армування сталевими фібрами.

Представлены результаты экспериментальных исследований трещиностойкости неразрезных комбинированно-армированных железобетонных балок с разными типами армирования стальными фибрами.

Perspective direction of concrete structures improvement are increasing their strength, hardness and shear strength by using statically indeterminate structures. Special place is occupied by statically indeterminate (continuous) reinforced concrete beams, as they most efficiently used components materials - concrete and reinforcement.

The dispersed-reinforced materials, including steel fibrous concrete are the one of most promising structural materials. Interest of using of fiber-reinforced concrete has been increasing, which can be explained by the desire to significantly increase the compressive strength of concrete materials and structures, tensile strength, shear strength, get effective structures which

would respond to higher operational requirements. Due to the mixed reinforcement of concrete beams, work of concrete in stretched zone can be effectively used.

The article presents the results of experimental studies of behavior and crack resistance of concrete beams with combination of classic and steel fibrous reinforcement under operating loads. Experiments were conducted with 300 cm long two-span beams which were made from heavy concrete. The size of the cross section was 10x16 cm. The length of spans was 140cm. The volume percent of fiber reinforcement was accepted 1%.

Testing of beams was carried in special force device, where with the hydraulic jack, was made loading, and through the cross-arm it was applied to the beams in two equidistant from central support points. During research was determined deflections, deformations of edge concrete fibers and crack width.

During the research, new experimental data were obtained, on the basis of which it can be concluded that the use of additional disperse reinforcement of steel fibers of the stretched zones of continuous reinforced concrete beams, allows to increase the rigidity of the elements, to increase their crack resistance and durability.

Ключові слова:

Балка, сталевібробетон, фібра, тріщина, тріщиностікість.

Балка, сталевібробетон, фибра, трещина, трещиностойкость.

Beam, steel fiber reinforced concrete, fiber, crack, crack-resistance

Стан питання та задачі дослідження. Статично невизначені залізобетонні конструкції, зокрема нерозрізні, багатопролітні балки досить широко використовуються в сучасному будівництві. Зокрема вони є складовими конструкцій перекриття промислових і цивільних будівель, естакадах, мостових конструкціях. Вибір нерозрізних несучих елементів обумовлений особливостями їх роботи, технологією влаштування, що проявляється в найбільш раціональному використанні складових матеріалів, бетону та арматури.

Під час конструювання та виготовлення залізобетонних конструкцій актуальним є застосування дисперсного армування – сталевібробетону, а також комбінованого армування (поєднання класичного армуванням із дисперсним). Це можна пояснити прагненням суттєво підвищити міцність бетонних елементів на розтяг, підвищити їх жорсткість та тріщиностійкість.

Комбінування жорстких – і через це зі значними резервами міцності – волокон (фібр) з матрицею (бетоном) дозволяє локалізувати небезпеку, пов'язану з крихким руйнуванням матриці та реалізувати таким чином основні властивості фібр: велика потенціальна міцність на розтяг та підвищений модуль пружності [1 – 4]. Ефективність застосування сталеві-

фібробетону (СФБ) в будівельних конструкціях може досягатися за рахунок зниження трудовитрат на арматурні роботи, суміщення технологічних операцій на приготування, армування, укладання та ущільнення СФБ суміші, продовження терміну експлуатації конструкцій і зниження витрат на різні види поточного ремонту.

Варто відмітити, що вплив дисперсного армування на напружено-деформований стан, прогини, тріщиностійкість статично невизначених конструкцій є маловивченим [7-11], тому результати експериментальних досліджень, що розглядаються у статті, є актуальними на даний час.

Для встановлення впливу армування сталевими фібрами комбіновано-армованих залізобетонних нерозрізних балок на їх тріщиностійкість, було проведено випробування трьох дослідних зразків. Вони являли собою нерозрізні двох прольотні залізобетонні балки довжиною 300 см з розмірами поперечного перерізу 10×16 см і з довжиною прольотів по 140 см (рис.1).

Склад цементно-піщаної матриці прийнято 1:2. Використовували портландцемент марки М500, та попередньо відмулений від глинистих, пілуватих і мулистих домішок пісок з модулем крупності 2,4. Одночасно з виготовленням балок бетонували куби розміром 15×15×15 см та призми 15×15×60 см, і 10×10×60 см які використовувалися для визначення кубикової та призової міцності бетону та його деформаційних характеристик. Цементно-піщана матриця мала такі механічні характеристики: середня кубикова міцність $f_{cm,cube} = 33$ МПа; призмova міцність $f_{cm,prism} = 22,6$ МПа, міцність на розтяг $f_{ctk,0,05} = 0,5$ МПа.

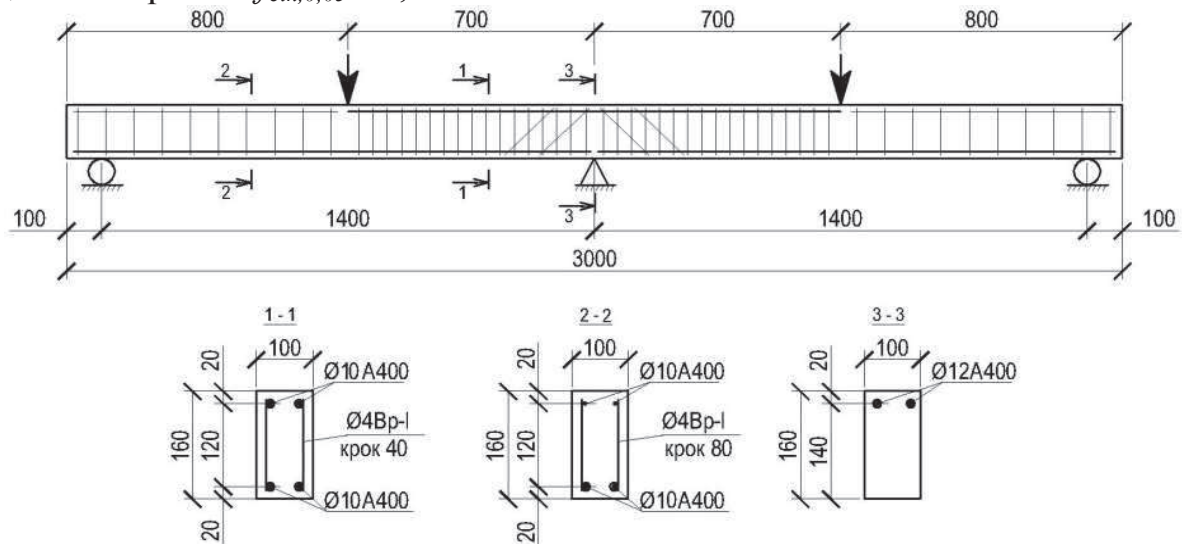


Рис.1. Конструктивна схема дослідних балок

Основне армування виконувалось у вигляді двох плоских каркасів з робочою арматурою в прольотах і над опорою з Ø10 А400С (підбиралась із врахуванням перерозподілу зусиль) і поперечним армуванням стержнями зі сталі Ø4 Вр-I, які влаштовувались між середньою опорою і місцем прикладення зусилля з кроком 40 мм, а між крайньою опорою і місцем прикладення зусилля з кроком 80 мм (рис. 1).

Додаткове, дисперсне армування дослідних зразків виконувалося з застосуванням сталевих фібр, таким чином, щоб у зразках було різне заповнення фібрами об'єму балки, але з однаковим відносним відсотком армування – рівним $\mu = 1\%$. Так балка ЗБ-1 армувалася фібрами по всьому своєму об'єму, ЗБ-2 – в розтягнутих зонах, ЗБ-3 – на висоту подвійного захисного шару бетону (рис. 2). Використовувалися сталеві фібри, хвилястої форми, довжиною 50 мм і діаметром 1 мм. Кубикова міцність СФБ була всього на 3% більша ніж цементно-піщаної матриці і становила $f_{cm,cube} = 34$ МПа, призмova міцність $f_{cm,prism} = 23,2$ МПа, міцність на розтяг $f_{ctk,0,05} = 1,7$ МПа, що на 340% більше ніж міцність на розтяг цементно-піщаної матриці.

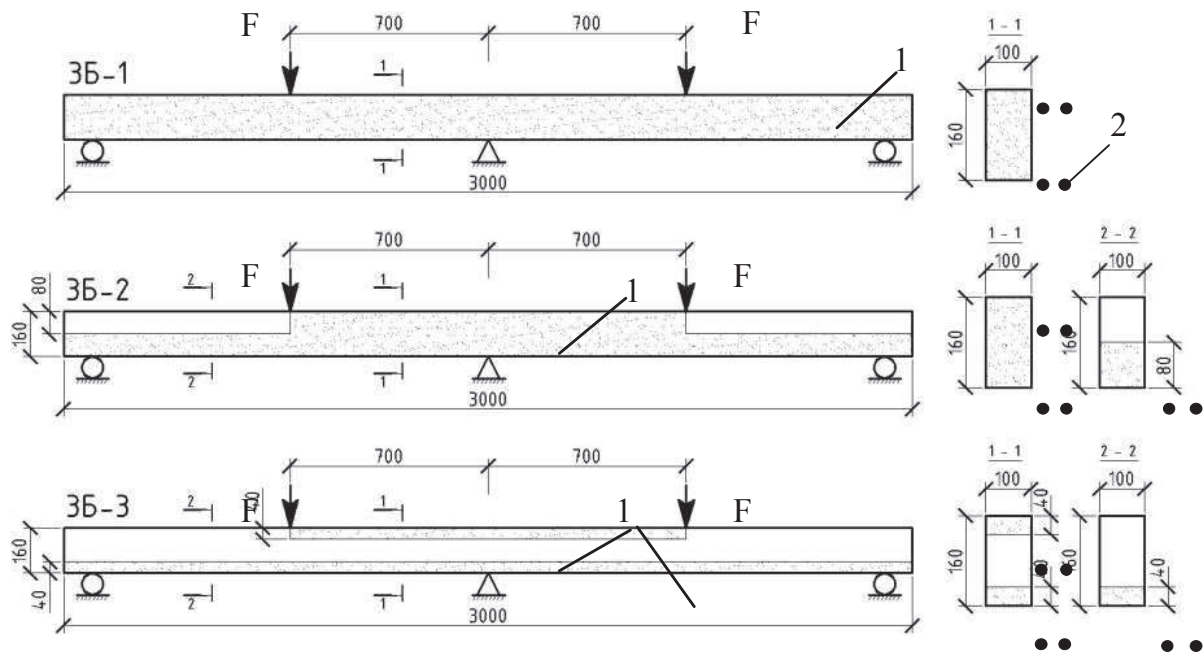


Рис. 2. Розподіл фібр по об'єму в зразках
1 – Зона додаткового армування фібрами, 2 - Основна арматура

Для випробування дослідних зразків-балок була запроєктована і виготовлена спеціальна силова установка (рис. 3). Завантаження дослідних зразків відбувалось ступенями, значення яких приблизно становило 7% від руйнівного навантаження. На кожному ступені навантаження витримувалось 5...7 хв, на протязі яких знімали покази по приладах, робили візуальний огляд балки, фіксували характер і розвиток утворення тріщин. Детально про методику дослідження роботи експериментальних зразків описано в роботі [5].

Ширину розкриття тріщин визначали за допомогою мікроскопа МПБ-3 з ціною поділки 0,02 мм. З метою покращення візуального спостереження за виникненням та розвитком тріщин перед дослідженнями на бокові поверхні балок наносився вапняний розчин. Утворення тріщин фіксувалось візуально та відмічалось графічно (олівцем), а їх ширину заміряли в місці максимального розкриття.

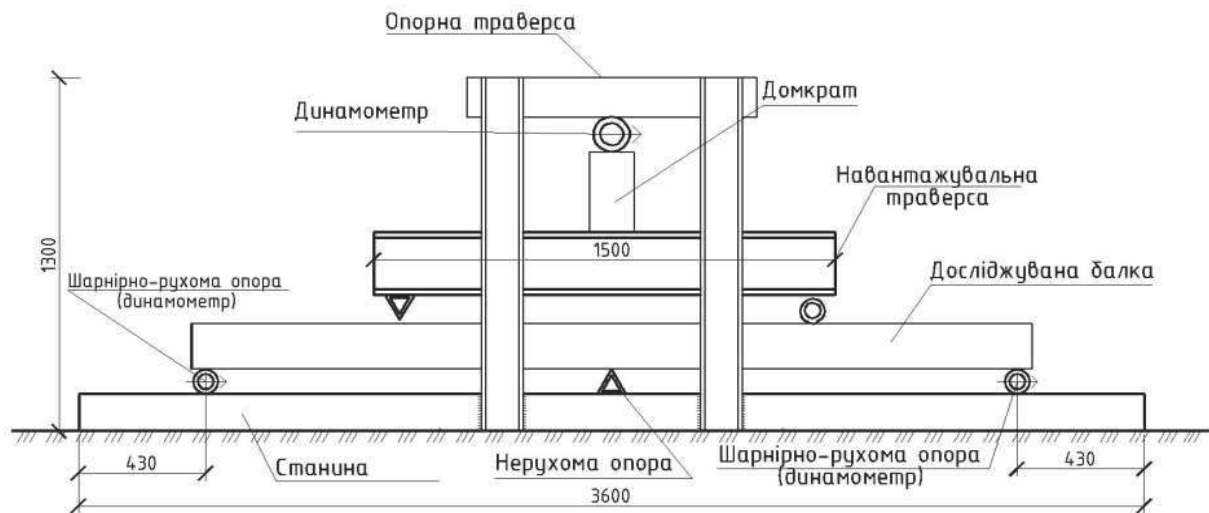


Рис. 3. Схема випробовування дослідних зразків-балок

Результати експериментальних досліджень. В процесі досліджень балок до руйнування були зафіксовані характерні особливості їх роботи. Детально про особливості напружено-деформованого стану в зразках описано в роботах [5, 6]. Так всі балки зруйнувалися по нормальних перерізах внаслідок досягнення граничних деформацій арматури в прольотах і над опорою, а також граничних деформацій бетону в стиснутих зонах. Руйнівне навантаження для випробуваних зразків-балок становило: для ЗБ-1 $F_u = 53$ кН, для ЗБ-2 $F_u = 54$ кН, для ЗБ-3 $F_u = 46$ кН. Зафіксована ширина розкриття тріщин представлена у таблиці 1.

Перші тріщини нормальні до поздовжньої осі елемента у балці ЗБ-1, що армована фібрами по всьому об'єму, з'явилися при навантаженні $F = 16$ кН, (приблизно 30% від руйнівного) і мали висоту 4...6 см. Ширина розкриття становила $a_{crc} = 0,08$ мм на опорі, та $a_{crc} = 0,05$ мм в прольотах. При подальшому навантаженні балки спостерігалася поява значної кількості нових тріщин із частково вираженою плетінчастістю. Росту старих тріщин по висоті практично не спостерігалось. Збільшення ширини розкриття тріщин, і опорних і прольотних, до рівня приблизно 75% від руйнівного, відбувалося практично лінійно і при $F = 40$ кН становили над опорою $a_{crc} = 0,03$ мм, та в прольоті $a_{crc} = 0,14$ мм. Зі зростанням навантаження спостерігався значний ріст ширини розкриття тріщин над опорою, і безпосередньо перед руйнування максимальна зафіксована ширина розкриття становила $a_{crc} = 0,85$ мм. При навантаженні $F = 40$ кН в приопорній зоні з'явилося декілька похилих тріщин, але подальший розвиток їх був незначний.

У балці ЗБ-2, що була армована фібрами лише в розтягнуті зонах, процес тріщиноутворення не сильно відрізнявся від ЗБ-1, що чітко видно на графіках що представлені на рис. 4 і рис. 5. Так перша тріщини над опорою з'явилися дещо раніше, при $F = 8$ кН, але ширина її була меншою і становила $a_{crc} = 0,05$ мм. При подальшому навантаженні картина утворення тріщин була аналогічною, як у балці ЗБ-1, а при зусиллі $F = 32 \dots 44$ кН ширина розкриття і опорних і прольотних тріщини була навіть дещо меншою. На останніх

рівнях навантаження спостерігався значний ріст ширини розкриття декількох тріщин над опорою, і безпосередньо перед руйнуванням максимальна зафіксована ширина становила $a_{crc} = 1,4$ мм.

Таблиця 1

Ширина розкриття тріщин (мм) при різних навантаженнях

F кН	Маркування дослідних багатопролітних балок								
	ЗБ-1			ЗБ-2			ЗБ-3		
	a_{crc} лівий проліт	a_{crc} над опорою	a_{crc} правий проліт	a_{crc} лівий проліт	a_{crc} над опорою	a_{crc} правий проліт	a_{crc} лівий проліт	a_{crc} над опорою	a_{crc} правий проліт
0									
4									
8					0.05				
12				0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.02
16	0.05	0.08	0.05	0.04	0.09	0.04	0.03	0.06	0.03
20	0.05	0.1	0.05	0.05	0.1	0.05	0.04	0.1	0.04
24	0.06	0.12	0.06	0.06	0.15	0.06	0.04	0.11	0.04
28	0.08	0.15	0.08	0.07	0.17	0.07	0.05	0.12	0.05
32	0.09	0.17	0.09	0.08	0.17	0.08	0.06	0.13	0.06
36	0.11	0.23	0.11	0.08	0.18	0.08	0.1	0.15	0.1
40	0.14	0.3	0.13	0.09	0.2	0.09	0.15	0.4	0.15
44	0.18	0.4	0.18	0.1	0.4	0.1	0.65	0.65	0.15
48	0.2	0.6	0.2	0.11	0.8	0.11			
52	0.25	0.85	0.25	0.2	1.4	0.7			

Характер тріщиноутворення у балці ЗБ-3 на перших етапах навантаження був аналогічний з попередніми зразками. Ширина розкриття і висота розвитку тріщин була на тому ж рівні, що і у балках ЗБ-1 та ЗБ-2. Зафіксовано, що різка активізація процесу тріщиноутворення почалася на меншому рівні навантаження ніж у попередніх зразках, вже при $F = 36$ кН. А безпосередньо перед руйнуванням при $F = 44$ кН максимальна ширина розкриття нормальних тріщин над опорою становила $a_{crc} = 0,65$ мм, що на 62% більше ніж у балках ЗБ-1 і ЗБ-2 при тому ж рівні навантаження. Також спостерігалася поява більшої кількості похилих тріщин по відношенню до попередніх зразків що можна пояснити відсутністю армування фіброю основного об'єму балки. Процес тріщиноутворення у дослідних балках ЗБ-1, ЗБ-2 і ЗБ-3 представлено на рис. 6.

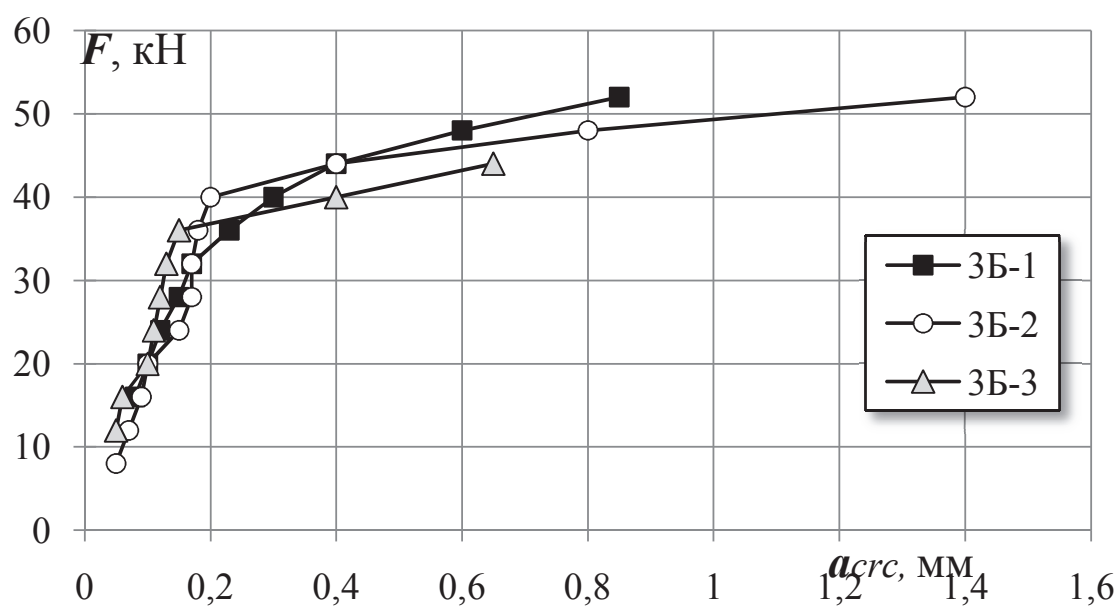


Рис. 4. Ширина розкриття тріщин в досліджуваних балках над центральною опорою

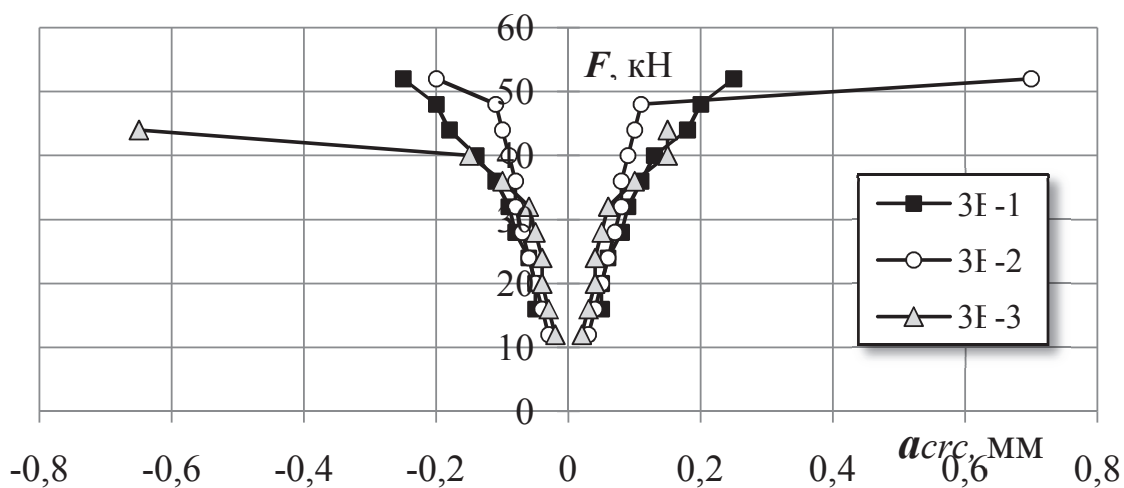


Рис. 5. Ширина розкриття тріщин в досліджуваних балках у прольотах



Рис. 6. Характер розвитку тріщин у дослідних балках

Аналізуючи результати дослідження можна стверджувати, що балки ЗБ-1 та ЗБ-2, які додатково армовані сталеву фібру відповідно по всьому об'єму елемента (ЗБ-1) та в розтягнутих зонах (ЗБ-2), мають приблизно однакову несучу здатність та характер тріщиноутворення на експлуатаційних рівнях навантаження. Лише перед руйнуванням спостерігається збільшення максимальної ширини розкриття тріщин у балки ЗБ-2 без сталеву фібру у стиснутих зонах.

Додаткове армування сталеву фібру розтягнутої зони балки, лише на висоту подвійного захисного шару бетону (зразок ЗБ-3) зменшує несучу здатність елемента, а також збільшує ширину розкриття тріщин на критичних рівнях навантаження на 62%, також спостерігається збільшення кількості похилих тріщин у порівнянні з зразками ЗБ-1 і ЗБ-2.

В ході дослідження були отримані нові експериментальні дані, на основі яких можна зробити висновки, що використання додаткового дисперсного армування сталевими фібрами розтягнутих зон нерозрізних залізобетонних балок, дозволяє підвищити жорсткість елементів, їх тріщиностійкість і відповідно термін експлуатації.

1. Борисюк О. П. Напружено-деформований стан залізобетонних балок підсиленних під навантаженням сталеву фібробетоном і композитами при дії малоциклових навантажень / О. П. Борисюк, Ю. Ю. Зятюк // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип. 33. – С. 303–313.

Borysiuk O. P. Napruzheno-deformovanyi stan zalizobetonnykh balok pidsylenykh pid navantazhenniam stalefibrobetonom i kompozytamy pry dii malotsyklovykh navantazhen / O. P. Borysiuk, Yu. Yu. Ziatyuk // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: zb. nauk. prats. – Rivne : NUVHP, 2016. – Vyp. 33. – S. 303–313.

2. Бабич Є. М. Дослідження опору високоміцних бетонів та фібробетонів пробиванню / Є.М. Бабич, Д.В. Кочкар'ов, С.В. Філіпчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2017. –Вип. 34.–С. 71–85.

Babych Ye. M. Doslidzhennia oporu vysokomitsnykh betoniv ta fibrobetoniv probyvanniu / Ye.M. Babych, D.V. Kochkarov, S.V. Filipchuk // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. – Rivne : NUVHP, 2017. – Vyp. 34. – S. 71 – 85.

3. Andriichuk O. The impact of the reinforcement percentage on the stress-strain state of the bending steel fiber reinforced concrete elements/ Andriichuk O., Babich V., Yasyuk I., Uzhehov S. // MATEC Web of Conferences, N 230, p 02001 (2018), 1-5.

4. Andriichuk O. The influence of repeated loading on work of the steel fiber concrete drainage trays and pipes on the roads / Andriichuk O., Babich V., Yasyuk I., Uzhehov S. // MATEC Web of Conferences, N 116, p 02001 (2017), 1-9.

5. Нінічук М.В., Вплив способу армування сталевими фібрами нерозрізних залізобетонних балок на їх напружено деформований стан/ Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: Видавництво Рівненського державного технічного університету, 2015. - Випуск 31.

Ninichuk M.V., Vplyv sposobu armuvannia stalevymy fibramy nerozriznykh zalizobetonnykh balok na yikh napruzheno deformovanyi stan/ Resursoekonomni materialy,

konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. - Rivne: Vydavnytstvo Rivnenskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 2015. - Vypusk 31.

6. Нінічук М.В., Вплив комбінованого армування на прогини нерозрізних залізобетонних балок/ Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: Видавництво Рівненського державного технічного університету, 2016. - Випуск 32.

Ninichuk M.V., Vplyv kombinovanoho armuvannia na prohyny nerozriznykh zalizobetonnykh balok/ Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. - Rivne: Vydavnytstvo Rivnenskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 2016. - Vypusk 32.

7. Білозір В.В. Вплив низхідної вітки діаграми деформування сталевібробетону за розтягу на несучу здатність балок / В.В. Білозір // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – Дубляни, ЛНАУ, 2015. Випуск № 16. – С. 60 – 64.

Bilozir V.V. Vplyv nyzkhidnoi vitky diahramy deformuvannia stalefibrobetonu za roztiahu na nesuchu zdatnist balok / V.V. Bilozir // Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seria: Arkhitektura i silskohospodarske budivnytstvo. – Dubliany, LNAU, 2015. Vypusk № 16. – S. 60 – 64.

8. Дробошинець С.Я., Вплив повторних малоциклових навантажень на механічні характеристики сталевібробетону та роботу згинальних елементів на його основі/ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Луцьк ЛНТУ, 2006. –С. 191.

Droboshynets S.Ia., Vplyv povtornykh malotsyklovykh navantazhen na mekhanichni kharakterystyky stalefibrobetonu ta robotu zghynalnykh elementiv na yoho osnovi/ Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. – Lutsk LNTU, 2006. –S. 191.

9. . Babych E.M., Strength of elements with annular cross sections made of steel-fiber-reinforced concrete under one-time loads / O.V. Andriichuk, E.M. Babych // Materials Science, Vol. 52, No. 4, January, 2017, p. 509 – 513.

10. ДСТУ-Н Б В.2.6-218:2016 «Настанова з проектування та виготовлення конструкцій з дисперсноармованого бетону» – К.: Мінрегіон України, 2016. – 19 с.

DSTU-N B V.2.6-218:2016 «Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia konstruktsii z dyspersnoarmovanoho betonu» – K.:Minrehion Ukrainy,2016. –19 s.

11. Бабич Є.М. Використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – К., КНУБА, 2014. Випуск № 54. – С. 33–41.

Babych Ye.M. Vykorystannia stalefibrobetonu dlia dorozhno-transportnykh sporud / Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk, I.M. Yasiuk // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. Naukovo-tekhnichniy zbirnyk. – K., KNUBA, 2014. Vypusk № 54. – S. 33 – 41.