

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.6.227-238

УДК 624.04

д.т.н., професор Сур'янінов М.Г.,
sng@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2592-5221,Вигнанець М.М.,
marinasidorchuk@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8822-636X,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ТА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І ФІБРОБЕТОННИХ БАЛОК

Наведено результати дослідження деформативності та тріщиностійкості залізобетонних балок з додатковим армуванням сталевую фіброю. Були виготовлені зразки-балки трьох серій (по три у кожній серії): I серія — балки із звичайного бетону; II серія — балки із сталефібробетону; III серія — балки комбінованого перерізу, у яких нижня зона (0,5 від висоти балки) виготовлена із сталефібробетону, а верхня — із звичайного бетону. З одного замісу виготовлялося по одному зразку кожної серії. Одночасно з того ж замісу були виготовлені зразки матеріалу. У склад бетонної маси для II та III серії зразків при змішуванні рівномірно додавалася фібра, загальний обсяг якої становив 1% обсягу. Навантаження прикладалося ступенями по 1 т. Деформації визначались за допомогою тензорезисторів, індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм в середині прольоту балки. На кожному етапі витримували певний час, необхідний для зняття показань приборів, знаходження і фіксування тріщин, а також для замірів довжини, ширини їх розкриття, використовуючи трубку Бринелля. Випробування показали, що деформативність балок трьох серій та характер тріщиноутворення суттєво відрізняються один від одного. Причому балка серії III з комбінованим армуванням займає за цими характеристиками проміжне положення. Так, до кінця випробувань залізобетонної балки (серія I) утворилося 19 тріщин, фібробетонної балки (серія II) — 28, балки з комбінованим армуванням (серія III) — 23. При цьому максимальна кінцева ширина розкриття тріщин для балок I, II, III серій склала відповідно 0,8 мм, 0,1 мм (одна тріщина) та 0,1 мм (дві тріщини). Тріщини у фібробетонній балці значно менші за шириною. А максимальна довжина тріщин тут виявилася найбільшою — 31,3 см, тоді як у балках I та III серій ця величина склала 25,5 см та 20,4 см відповідно.

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що найкращі показники тріщиностійкості виявляють балки з повним дисперсним армуванням. Застосування фібри дозволяє змінити характер процесу руйнування. На відміну

від звичайного бетону, в якому цей процес відбувається практично миттєво, у фібробетоні не відбувається крихкого руйнування, і балка продовжує чинити опір навантаженню, а характер руйнування змінюється з крихкого на в'язкий.

Ключові слова: балка; фібробетон; експеримент; деформативність; тріщиностійкість; тріщина; дисперсне армування.

Вступ. Розробка нових підходів при проведенні теоретичних, комп'ютерних та експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій, як і раніше, залишається актуальним завданням. Вивчення реальних фізичних закономірностей, що враховують структурно-технологічні чинники, нелінійність, непружний характер деформування бетону, появу та розвиток тріщин, спільну роботу бетону та арматури та безліч інших факторів, ведуть, зрештою, до створення більш надійних та одночасно економічних конструкцій.

Серед безлічі факторів, що визначають ефективність і довговічність тієї чи іншої конструкції, деформативність і тріщиностійкість відіграють не менш важливу роль, ніж несуча здатність. Їхнє всебічне вивчення є найбільш інформативним при проведенні експериментальних досліджень. При цьому дослідження показують, що експериментальні значення зусиль тріщиноутворення в залізобетонних конструкціях, що згинаються, відрізняються від розрахункових значень істотно більше, ніж експериментальні і розрахункові значення несучої здатності.

До теперішнього часу накопичений досить великий експериментально-теоретичний матеріал з дослідження міцності та тріщиностійкості згинальних залізобетонних елементів.

Сучасне будівництво, безумовно, вимагає нових ефективних матеріалів. Одним із них є сталеві фібробетон, який дозволяє покращити такі характеристики бетону, як тріщиностійкість, морозостійкість, міцність на розтяг, вигин, кручення та ін. Застосування фібри дозволяє змінити характер процесу руйнування. На відміну від звичайного бетону, в якому цей процес відбувається практично миттєво, у фібробетоні не відбувається крихкого руйнування, і конструкція продовжує чинити опір навантаженню, а характер руйнування змінюється з крихкого на в'язкий.

Однак питання міцності, деформативності та тріщиностійкості згинальних сталеві фібробетонних конструкцій вивчені явно недостатньо.

Аналіз попередніх досліджень. У зарубіжних країнах давно використовують фіброве армування для підвищення в'язкості бетонної суміші. У роботах [1, 2] вивчався вплив різних армуючих елементів на характеристики міцності фібробетону. Розглянуто вплив параметрів волокна, включаючи

матеріал, форму волокна та відсоток фібрового армування на міцність при стисканні, осьовому розтягуванні та розтягуванні при згинанні.

Вплив оптимального вмісту сталевих фібри на згинальну поведінку балок було досліджено у статті [3]. Випробування показали, що додаткове армування фіброю дозволяє підвищити тріщиностійкість балок.

Проблемі тріщиностійкості балок присвячено багато робіт. Огляд і синтез науково-технічних джерел і нормативних документів, щодо цієї проблеми виконано в [4]. Описано і узагальнено нові критерії і моделі для важких бетонів, які одержані за цей період, зокрема, нова деформаційна модель тріщиностійкості бетону на засадах механіки руйнування. Також представлено аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень тріщиностійкості важких бетонів на дископодібних зразках при позацентровому розтягу зосередженими силами. Тріщиностійкість залізобетонних балок розглядається в роботах [5, 6] та багатьох інших.

А ось статті [7-13] висвітлюють тріщиностійкість балок, що додатково армовані різними видами фібри. Вплив об'ємної частини сталевих волокон та товщини сталевих фібробетону на розвиток тріщин і тріщиностійкість досліджували в [7] за допомогою випробувань на згин шести балок. Результати показали, що додавання сталевих волокон ефективно обмежує висоту розтягування початкової тріщини та розширення тріщини після розтріскування. У роботі [8] повідомляється про покращення руйнування фібробетону завдяки включенню різних типів і комбінацій волокон. Руйнування бетону, армованого синтетичним волокном, гібридним волокном і бетону, армованого сталевим волокном, досліджується тут за допомогою техніки цифрової кореляції зображень. Автори статті [12] використовували програму ANSYS для моделювання конструктивних параметрів фібробетонних балок, таких як, вміст сталевих волокон у бетоні, відстань між стрижнями на кінцях балки, кількість сталі, що розтягується, діаметр розтягнутих сталевих прутків, нелінійний характер деформування тощо, щоб розглянути утворення тріщин і розвиток тріщин у балках від початку навантаження до руйнування.

Мета. Метою роботи було дослідження деформативності та тріщиностійкості залізобетонних балок з додатковим армуванням сталевих фіброю.

Матеріали та методи дослідження. Усі дослідження проводились на базі лабораторії кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури. Для вимірювань використовували тензорезистори, індикатори годинникового типу та трубку Бринелля. Для дослідження балок використано експериментальні методи механіки.

Результати та обговорення. Були виготовлені зразки-балки трьох серій (по три у кожній серії): I серія — балки із звичайного бетону; II серія — балки із сталевібробетону; III серія — балки комбінованого перерізу, у яких нижня зона (0,5 від висоти балки) виготовлена із сталевібробетону, а верхня — із звичайного бетону. З одного замісу виготовлялося по одному зразку кожної серії. Одночасно з того ж замісу були виготовлені зразки матеріалу. У склад бетонної маси для II та III серії зразків при замішуванні рівномірно додавалася фібра, загальний обсяг якої становив 1% обсягу. Випробування зразків матеріалу проводилися на призмах та кубах, розмірами 100×100×400 мм та 100×100×100 мм відповідно, витриманих 28 діб. Призми та куби зроблено за вимогами діючих норм [14].

Виготовлено по 2 групи призм та кубиків. Одна із звичайного бетону, друга — з бетону з анкерною сталевіброю [15]. Кожна група складалася із шести зразків.

Перед самим випробуванням балки обстежували, щоб перевірити їх придатність: рівність, відсутність тріщин та викосів.

Балки завантажували, використовуючи силову раму пресу (рис. 1). Навантаження прикладалося ступенями по 1 т. Деформації визначались за допомогою тензорезисторів, індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм в середині прольоту балки. На кожному етапі витримували певний час, необхідний для зняття показань приборів, знаходження і фіксування тріщин, а також для замірів довжини, ширини їх розкриття, використовуючи трубку Бринелля.

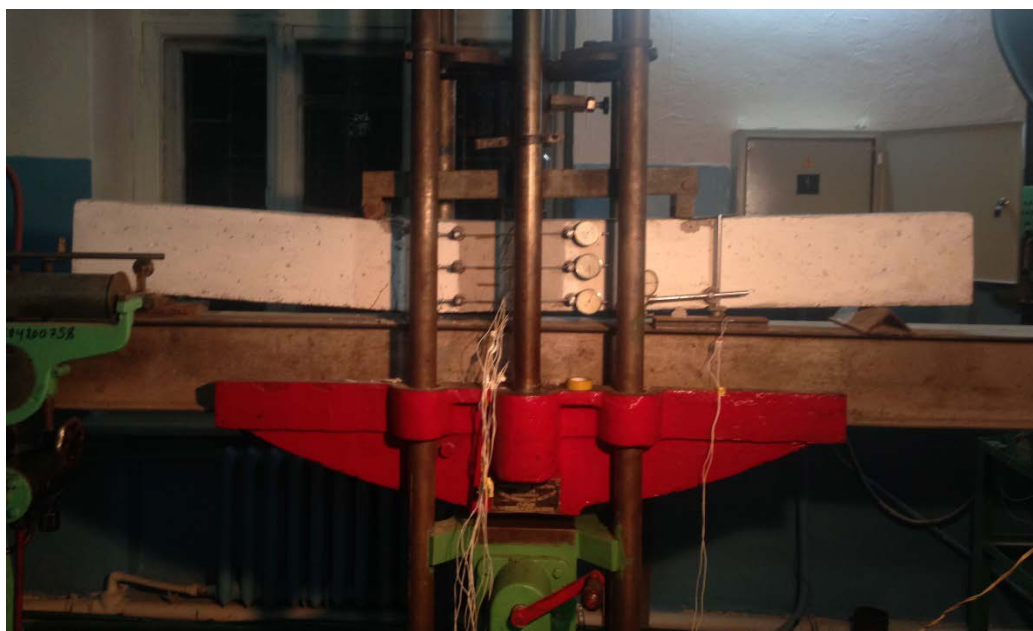


Рис. 1. Силова рама пресу

Розташування тріщин в балках І серії показано на рис. 2, а ширину їх розкриття у залізобетонній балці наведено у табл. 1. Всього утворилося 19 тріщин.



Рис. 2. Розташування тріщин у залізобетонній балці

Таблица 1

Ширина розкриття тріщин у залізобетонній балці

Ширина, мм	Тріщина									
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№8	№11	№13	№19
a_t	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0,8	0,1

Розташування тріщин в балках II серії показано на рис. 3, а ширину їх розкриття у фібробетонній балці наведено у табл. 2. Всього утворилося 28 тріщин.

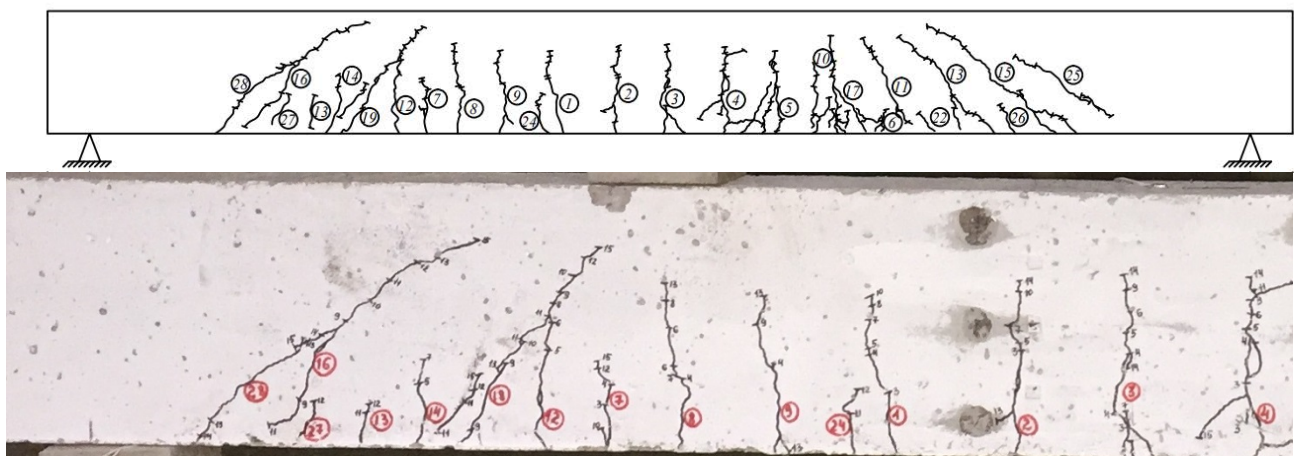


Рис. 3. Розташування тріщин у фібробетонній балці

Таблиця 2

Ширина розкриття тріщин у фібробетонній балці

Ширина, мм	Тріщина											
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№11	№13	№15	№19	№20
a_t	0,1	0,11	0,2	0,3	0,05	0,05	0,05	0,07	0,1	0,05	0,15	0,15

Розташування тріщин в балках III серії показано на рис. 4, а ширину їх розкриття у комбінованій балці наведено у табл. 3. Всього утворилося 23 тріщини.

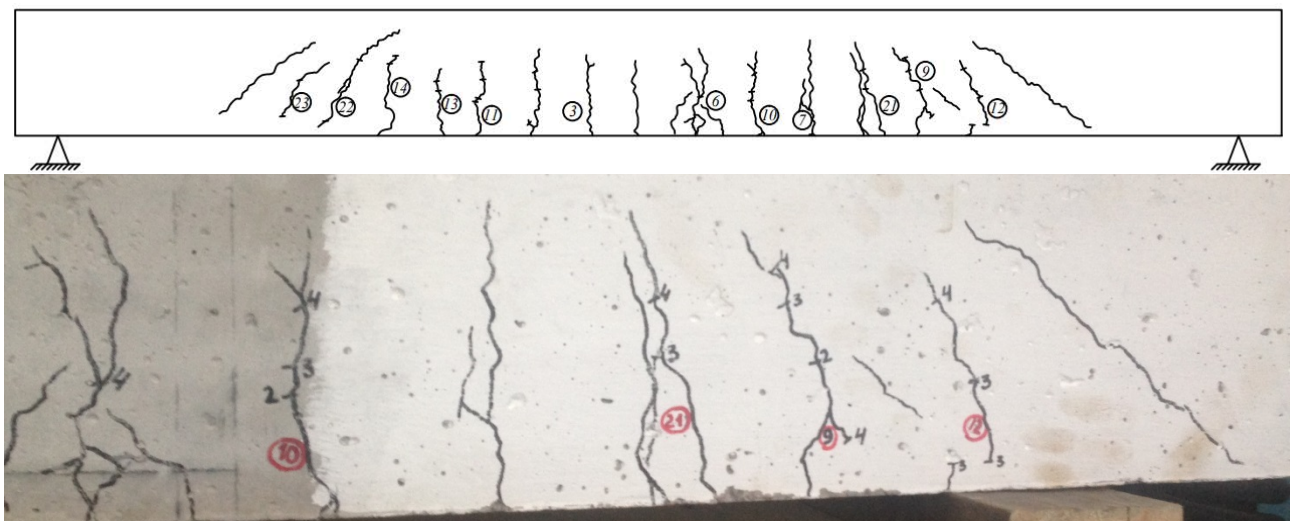


Рис. 4. Розташування тріщин у комбінованій балці

Таблиця 3

Ширина розкриття тріщин у комбінованій балці

Ширина, мм	Тріщина									
	№3	№6	№7	№9	№10	№11	№13	№21	№22	№23
a_t	0,09	0,1	0,09	0,07	0,1	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05

Порівняльний характер тріщиноутворення в балках I, II та III серій при короткочасному навантаженні зображений на рис. 5.

У табл. 4 наведена послідовність утворення тріщин у залізобетонній та сталеві фібробетонній балках при збільшенні навантаження, а в табл. 5 — ширина розкриття тріщин.

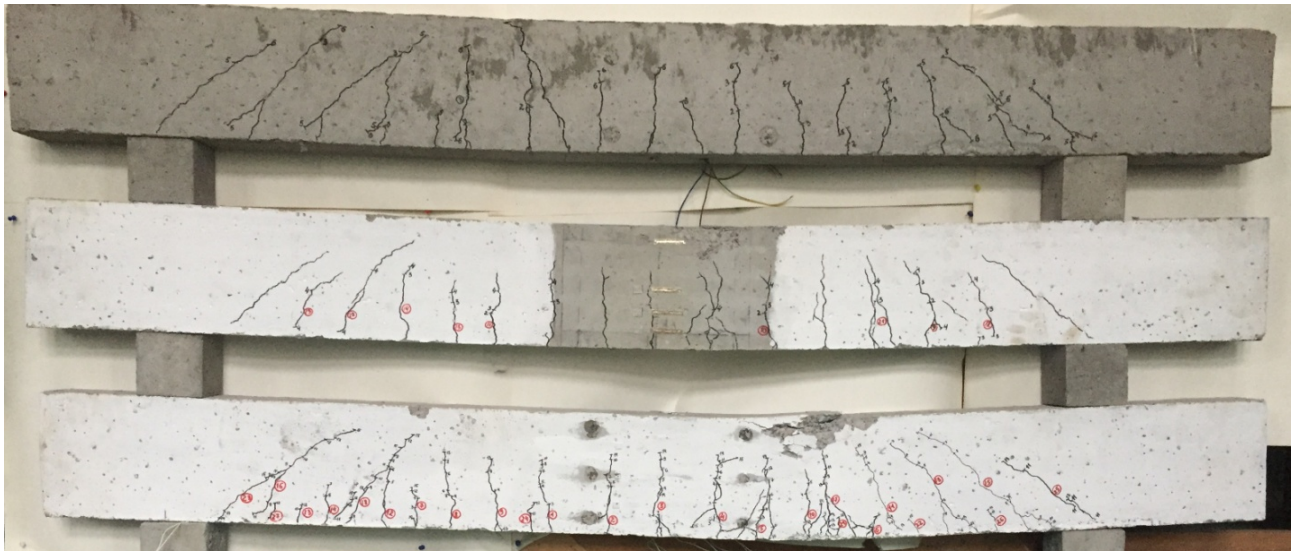


Рис. 5. Випробувані зразки трьох серій

Таблиця 4

Послідовність утворення тріщин у залізобетонній та сталевібробетонній балках

Ступень навантаження		Навантаження, кН		Номер тріщини		Мінімальна висота стислої зони, см	
Серія		Серія		Серія		Серія	
I	II	I	II	I	II	I	II
0	0	0	0				
1	1	20	10				
2	2	40	15	1-4		12	
3	3	60	20	5-11	1-7	14	13
4	4	70	25	12,13	8-12	14	15
5	5	75	30	19		16	
	6		35				
	7		40				
	8		45				
	9		50		19, 20		17
	10		55		21,22		6
	11		60		23-26		5
	12		65		27		6
	13		70		28		18

Таблиця 5

Ширина розкриття деяких тріщин балок I, II та III серій

Номер тріщини	Згинаючий момент, кНм	Початкова ширина розкриття, мм	Кінцева ширина розкриття, мм	Довжина тріщини, см
I серія				
1	5,4	0,1	0,4	12,3
2	5,4	0,5	0,5	12,9
3	5,4	0,1	0,4	15,9
4	5,4	0,2	0,4	13,8
5	8,1	0,1	0,2	14,5
6	8,1	0,1	0,1	21,6
8	8,1	0,1	0,1	12,6
11	8,1	0,2	0,4	25,5
13	9,45	0,8	0,8	22
19	10,13	0,1	0,1	24,6
II серія				
1	2,7	0,001	0,1	13,8
2	2,7	0,01	0,11	14,5
3	2,7	0,06	0,2	14,9
4	2,7	0,3	0,3	14,6
7	2,7	0,01	0,05	9,2
11	3,375	0,05	0,07	16,4
13	4,645	0,07	0,1	22,5
15	4,645	0,05	0,05	27,4
19	6,75	0,15	0,15	22,3
20	6,75	0,10	0,15	7,1
28	9,45	0,01	0,04	31,3
III серія				
3	2,7	0,06	0,09	12,4
6	2,7	0,1	0,1	14
7	2,7	0,01	0,09	15,2
9	2,7	0,05	0,07	14,4
10	5,4	0,07	0,1	13,6
13	5,4	0,05	0,06	10,8
21	8,1	0,05	0,05	15,8
22	8,1	0,05	0,05	20,4
23	9,45	0,05	0,05	11,5

Висновки

Випробування показали, що деформативність балок трьох серій та характер тріщиноутворення суттєво відрізняються один від одного. Причому балка серії III з комбінованим армуванням займає за цими характеристиками проміжне положення. Так, до кінця випробувань залізобетонної балки (серія I) утворилося 19 тріщин, фібробетонної балки (серія II) — 28, балки з комбінованим армуванням (серія III) — 23. При цьому максимальна кінцева ширина розкриття тріщин для балок I, II, III серій склала відповідно 0,8 мм, 0,1 мм (одна тріщина) та 0,1 мм (дві тріщини). Тріщини у фібробетонній балці значно менші за шириною. А максимальна довжина тріщин тут виявилася найбільшою — 31,3 см, тоді як у балках I та III серій ця величина склала 25,5 см та 20,4 см відповідно.

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що найкращі показники тріщиностійкості виявляють балки з повним дисперсним армуванням. Застосування фібри дозволяє змінити характер процесу руйнування. На відміну від звичайного бетону, в якому цей процес відбувається практично миттєво, у фібробетоні не відбувається крихкого руйнування, і балка продовжує чинити опір навантаженню, а характер руйнування змінюється з крихкого на в'язкий.

Список літератури

1. Reza Babaie, Milad Abolfazli, Ahmad Fahimifar Mechanical properties of steel and polymer fiber reinforced concrete / Reza Babaie, Milad Abolfazli, Ahmad Fahimifar – De Gruyter, pp. 119-133, 2019.
2. N. Buratti, C. Mazzotti, M. Savoia. Experimental study on the flexural behaviour of fibre reinforced concretes strengthened with steel and macro-synthetic fibres / N. Buratti, C. Mazzotti, M. Savoia. Korea Concrete Institute, Seoul, ISBN 978-89-5708-181-5, Structural engineering, University of Bologna, Bologna, Italy, pp. 1286-1294, 2010.
3. Hamid Pesaran Behbahani, Behzad Nematollahi, Abdul Rahman Mohd. Sam, F. C. Lai Flexural behavior of steel-fiber-added-rc (sfarc) beams with c30 and c50 classes of concrete / Hamid Pesaran Behbahani, Behzad Nematollahi, Abdul Rahman Mohd. Sam, F. C. Lai – International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology (ISSN: 2180-3242) Vol 3, Issue 1, 2012, pp. 54-63, 2012.
4. Лучко Й.Й. Тріщиностійкість залізобетонних конструкцій мостів на засадах механіки руйнування. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, Львів. 2023, No 23. С. 54-65.
5. Bolin Jiang, Shanshan Wu, Resistance measurement for monitoring bending cracks in steel fiber concrete beams test, Alexandria Engineering Journal, Volume 66, 2023, Pages 691-699, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.074>.
6. Zh. S. Nuguzhinov et al. 2019. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 690 012002 DOI 10.1088/1757-899X/690/1/012002.
7. Vegera, Pavlo & Khmil, Roman & Vashkevych, Rostyslav & Blickharsky, Zinoviy. (2019). Comparison Crack Resistance of RC Beams with and without Transverse Reinforcement after Shear Testing. Quality Production Improvement - QPI. 1. 342-349. 10.2478/cqpi-2019-0046.
8. Zhu Q, Liu J. Calculation Method for the Cracking Resistance and Bearing Performance of SFRAC Beams. Materials. 2023; 16(13):4769. <https://doi.org/10.3390/ma16134769>.

9. Shen, Wei & Chen, Shengping & Zhang, Jianbo. (2022). Calculation of Cracks in Partially Steel Fiber Reinforced Concrete Beams with BFRP Bars. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. 1-12. 10.1155/2022/9158379.
10. Bhosale, A.B., Prakash, S.S. Crack Propagation Analysis of Synthetic vs. Steel vs. Hybrid Fibre-Reinforced Concrete Beams Using Digital Image Correlation Technique. *Int J Concr Struct Mater* 14, 57 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40069-020-00427-8>.
11. Xue Z, Qi P, Yan Z, Pei Q, Zhong J, Zhan Q. Mechanical Properties and Crack Resistance of Basalt Fiber Self-Compacting High Strength Concrete: An Experimental Study. *Materials*. 2023; 16(12):4374. <https://doi.org/10.3390/ma16124374>.
12. Do Thi My Dung, & Lam Thanh Quang Khai (2021). Design parameters of steel fiber concrete beams. *Magazine of Civil Engineering*, (2 (102)), 10207.
13. Polikutin Aleksei, Potapov Yuri, Zyabukhin Pavel, Oforkaja Theophilus, Davud Karakchi-Ogli; Strength and crack resistance of rubber and reinforced concrete T-beams. *AIP Conf. Proc.* 4 May 2023; 2497 (1): 020051. <https://doi.org/10.1063/5.0109716>
14. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.
15. BS EN 14889-1:2006 Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions and specifications and conformity. BSI, 2006. 30 p.

Doctor of Science, Professor **Mykola Surianinov**,
Postgraduate **Marina Vyhnanets**.

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa

DEFORMABILITY AND CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE AND FIBER CONCRETE BEAMS

The work presents the results of the study of deformability and crack resistance of reinforced concrete beams with additional steel fiber reinforcement. Beam samples of three series were produced (three in each series): series I — beams made of ordinary concrete; II series — steel-reinforced concrete beams; III series — beams of combined section, in which the lower zone (0.5 from the height of the beam) is made of steel fiber concrete, and the upper zone is made of ordinary concrete. One sample of each series was made from one batch. At the same time, material samples were made from the same batch. Fiber, the total volume of which was 1% of the volume, was uniformly added to the composition of the concrete mass for the II and III series of samples during mixing. The load was applied in increments of 1 ton. Deformations were determined using strain gauges, watch-type indicators with a division value of 0.01 mm in the middle of the beam span. At each stage, a certain amount of time was required to read the instruments, find and fix the cracks, as well as to measure the length and width of their opening using a Brinell tube. The tests showed that the deformability of the beams of the three series and the character of the crack formation are significantly different from each other. Moreover, the series III beam with combined reinforcement occupies an intermediate position in terms of these

characteristics. Thus, by the end of the tests, the reinforced concrete beam (series I) had 19 cracks, the fiber concrete beam (series II) — 28, the beams with combined reinforcement (series III) — 23. At the same time, the maximum final crack opening width for beams I, II, III series was 0.8 mm, 0.1 mm (one crack) and 0.1 mm (two cracks), respectively. Cracks in a fiber concrete beam are much smaller in width. And the maximum length of the cracks here turned out to be the largest — 31.3 cm, while in the beams of the I and III series this value was 25.5 cm and 20.4 cm, respectively.

The analysis of the given results shows that the best indicators of crack resistance are revealed by beams with full dispersion reinforcement. The use of fiber allows you to change the nature of the destruction process. Unlike ordinary concrete, in which this process occurs almost instantaneously, in fiber concrete there is no brittle failure, and the beam continues to resist the load, and the nature of the failure changes from brittle to viscous.

Keywords: beam; fiber concrete; experiment; deformability; crack resistance; crack; dispersed reinforcement.

REFERENCES

1. Reza Babaie, Milad Abolfazli, Ahmad Fahimifar Mechanical properties of steel and polymer fiber reinforced concrete / Reza Babaie, Milad Abolfazli, Ahmad Fahimifar – De Gruyter, pp. 119-133, 2019. {in English}
2. N. Buratti, C. Mazzotti, M. Savoia. Experimental study on the flexural behaviour of fibre reinforced concretes strengthened with steel and macro-synthetic fibres / N. Buratti, C. Mazzotti, M. Savoia. Korea Concrete Institute, Seoul, ISBN 978-89-5708-181-5, Structural engineering, University of Bologna, Bologna, Italy, pp. 1286-1294, 2010. {in English}
3. Hamid Pesaran Behbahani, Behzad Nematollahi, Abdul Rahman Mohd. Sam, F.C. Lai Flexural behavior of steel-fiber-added-rc (sfarc) beams with c30 and c50 classes of concrete / Hamid Pesaran Behbahani, Behzad Nematollahi, Abdul Rahman Mohd. Sam, F.C. Lai – International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology (ISSN: 2180-3242) Vol 3, Issue 1, 2012, pp. 54-63, 2012. {in English}
4. Luchko J.J. Crack resistance of reinforced concrete bridge structures based on the principles of fracture mechanics. Bridges and tunnels: theory, research, practice, Lviv. 2023, No. 23. Pp. 54-65. {in Ukrainian}.
5. Bolin Jiang, Shanshan Wu, Resistance measurement for monitoring bending cracks in steel fiber concrete beams test, Alexandria Engineering Journal, Volume 66, 2023, Pp. 691-699, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.074>. {in English}

6. Zh. S. Nuguzhinov et al. 2019. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 690 012002 DOI 10.1088/1757-899X/690/1/012002. {in English}
7. Vejera, Pavlo & Khmil, Roman & Vashkevych, Rostyslav & Blickharsky, Zinovi. (2019). Comparison Crack Resistance of RC Beams with and without Transverse Reinforcement after Shear Testing. Quality Production Improvement - QPI. 1. 342-349. 10.2478/cqpi-2019-0046. {in English}
8. Zhu Q, Liu J. Calculation Method for the Cracking Resistance and Bearing Performance of SFRAC Beams. Materials. 2023; 16(13):4769. <https://doi.org/10.3390/ma16134769>. {in English}
9. Shen, Wei & Chen, Shengping & Zhang, Jianbo. (2022). Calculation of Cracks in Partially Steel Fiber Reinforced Concrete Beams with BFRP Bars. Advances in Materials Science and Engineering. 2022. 1-12. 10.1155/2022/9158379. {in English}
10. Bhosale, A.B., Prakash, S.S. Crack Propagation Analysis of Synthetic vs. Steel vs. Hybrid Fibre-Reinforced Concrete Beams Using Digital Image Correlation Technique. Int J Concr Struct Mater 14, 57 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40069-020-00427-8>. {in English}
11. Xue Z, Qi P, Yan Z, Pei Q, Zhong J, Zhan Q. Mechanical Properties and Crack Resistance of Basalt Fiber Self-Compacting High Strength Concrete: An Experimental Study. Materials. 2023; 16(12):4374. <https://doi.org/10.3390/ma16124374>. {in English}
12. Do Thi My Dung, & Lam Thanh Quang Khai (2021). Design parameters of steel fiber concrete beams. Magazine of Civil Engineering, (2 (102)), 10207. {in English}
13. Polikutin Aleksei, Potapov Yuri, Zyabukhin Pavel, Oforkaja Theophilus, Davud Karakchi-Ogli; Strength and crack resistance of rubber and reinforced concrete T-beams. AIP Conf. Proc. 4 May 2023; 2497 (1): 020051. <https://doi.org/10.1063/5.0109716>. {in English}
14. DSTU B V.2.7-214:2009 Concretes. Methods of determination of strength according to control samples. K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2010. 43 p. {in Ukrainian}.
15. BS EN 14889-1:2006 Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions and specifications and conformity. BSI, 2006. 30 p. {in English}