

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ БЕТОНУ АРМОВАНОГО БАЗАЛЬТОВОЮ ФІБРОЮ

Юлій КЛИМОВ

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітряних Сил, Київ, Україна, 03037
yuliiklymov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4275-7058>

Анотація. Неметалева композитна арматура знаходить все більш широке застосування у сучасному будівництві, що обумовлено високими механічними характеристиками, стійкістю до корозії, довговічністю у середовищі бетону і зовнішньому агресивному середовищі та іншими властивостями. При цьому, зазвичай, неметалева композитні арматура застосовується у вигляді стержнів з основним несучим елементом у вигляді базальтового, скло, арамідного або ровінгу з інших матеріалів, який представляє собою тонкі волокна діаметром в межах 7...20 мкм.

Зазначений ровінг, як елемент армування бетонних конструкцій, у значно меншій мірі застосовується у вигляді фібри, хоча він є реальною альтернативою традиційній сталевій фібри з усіма перевагами фібрового армування, до якого додається ще й корозійна стійкість. Ситуація, що склалася пояснюється обмеженою кількістю експериментально-теоретичних досліджень неметалевого фібрового армування, зокрема міцності на розтяг, яка є однією з основних переваг фібрового армування бетону.

У даній статті наведені результати експериментальних досліджень міцності на розтяг бетону, армованого фіброю з базальтового ровінгу діаметром 16 мкм і довжиною 24 мм, які включали в себе випробування на розтяг при згині трьох серій зразків бетону з класом міцності на стиск, відповідно, С20/25, С25/30, С30/35 і відсотком фібрового армування у межах 2,0...8%.

В результаті проведених досліджень встановлено, що армування фіброю з базальтового ровінгу призводить до збільшення міцності бетону на осьовий розтяг. Так, для бетону класу С20/25 міцність на розтяг при відсотках армування в діапазоні 2,0...8,0% збільшилася з 1,64 до 2,18



Юлій КЛИМОВ

професор кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій,
д.т.н., професор

МПа, класу С25/30 – з 1,82 до 2,17 МПа, для бетону С30/35 при відсотках армування в діапазоні 2,0...6,0% – з 2,12 до 2,22 МПа. При цьому, найбільш інтенсивне зростання міцності на розтяг мало місце при збільшенні відсотку армування в межах 2,0...4,0%. При подальшому збільшенні відсотка армування у межах 6,0...8,0% це зростання припинялося, що свідчить про те, що найбільш ефективним є фіброве армування у межах 2,0...4,0% незалежно від класу бетону за міцністю на стиск.

За інших рівних умов, зростання міцності бетону на осьовий розтяг при збільшенні відсотку фібрового армування в межах 2,0...8,0% складає 15...20% у порівнянні з бетоном без армування.

Ключові слова: базальтова фібра, ровінг, бетон, міцність, розтяг.

ВСТУП

Неметалева арматура знаходить все більш широке застосування в бетонних конструкціях сучасного будівництва, що обумовлено її високими механічними характеристиками, довговічністю і, саме головне, корозійною стійкістю.

Останнє дозволяє більш широко застосовувати конструкції з неметалевою арматурою

у агресивних зовнішніх середовищах і зняти обмеження на ширину розкриття тріщин [1], яке встановлено для залізобетонних конструкцій зі сталевую арматурою [2, 3].

Зазвичай, неметалева арматура застосується у вигляді стержнів з основним несучим елементом - ровінгом (тонким волокном діаметром 7...20 мкм) з базальту, скла, арамід, вуглецю, який формується за допомогою термореактивної смоли у стержень з відповідним періодичним профілем і класифікується як композитна стержнева арматура. Міцність ровінгу на розтяг, в залежності від матеріалу, складає 1800...4800 МПа, модуль пружності – 70...350 ГПа, щільність – 1400...2500 кг/м³, граничні відносні деформації при розтязі -1,1...4,4% [4].

Застосуванню неметалевої композитної арматури передували численні експериментальні дослідження механічних характеристик стержневої арматури, її зчеплення з бетоном, довговічності у середі бетону і різноманітних зовнішніх середовищах, міцності, жорсткості і тріщиностійкості при дії згинальних моментів і поздовжніх сил [4, 5, 6, 7, 8, 9 та інші]. Результати проведених досліджень були покладені в основу відповідних нормативних документів з проектування конструкцій з неметалевою композитною арматурою [10, 11, 12, 13].

Крім стержнів, неметалева арматура застосовується у бетонних конструкціях також у вигляді фібри. Таке армування наряду з зазначеними вище перевагами неметалевої арматури (високими механічними характеристиками, довговічністю, корозійною стійкістю) призводить до збільшення міцності на розтяг, ударної в'язкості, стійкості до стирання і опору при динамічних навантаженнях. Фіброве армування застосовується у несучих фасадних панелях, промислових підлогах, оправах тунелів, посудинах високого тиску, конструкціях захисних споруд та інших.

Найбільш розповсюдженим матеріалом неметалевої фібри є полімерна фібра з акрилу, арамід, нейлону, поліестеру, полістиролу, поліпропілену [14]. Разом з тим, останнім часом все більшої актуальності

набуває застосування фібри з базальтового ровінгу, що застосовується у якості основного несучого елементу неметалевої композитної арматури [13]. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що введення фібри з базальтового ровінгу призводить до суттєвого збільшення міцності бетону (базальтофібробетону) на розтяг. Однак, застосуванню такої фібри у практиці будівництва заважає обмеженість експериментальних даних щодо впливу довжини фібри, відсотку армування і класу бетону на відповідну міцність базальтофібробетону на розтяг.

У цій статті, в рамках продовження досліджень [15], наведені результати експериментальних досліджень впливу фібрового армування базальтовим ровінгом на міцність бетону на розтяг в залежності від міцності бетону на стиск (класу бетону за міцністю на стиск).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Завдяки своїм специфічним властивостям, таким як висока міцність на розтяг, ударна в'язкість, стиранність, довговічність, корозійна стійкість при застосуванні полімерних і органічних матеріалів, для цілого ряду бетонних конструкцій дисперсне фіброве армування є більш ефективним у порівнянні з традиційним стержневим армуванням.

Найбільш широко для фібрового армування бетонних конструкцій у сучасному будівництві застосовується базальтова фібра, дослідженню конструкцій з якою присвячені численні експериментально-теоретичні дослідження.

Геометричні розміри базальтової фібри змінюються у широкому діапазоні – діаметр від 7...20 мкм (тонка фібра з ровінгу) до 500 мкм (фібра з грубого базальтового волокна), довжина фібри від 5 до 50 мм.

Експериментально-теоретичні дослідження армування бетону фібровою базальтовою арматурою охоплювали широке коло питань від механічних характеристик самої фібри [16, 17, 18 та ін.] в тому числі і при підвищених

температурах [19], впливу фібри на міцність бетону [20, 21], в тому числі високоміцного [22] і бетону, що самоущільнюється [23], а також при малоциклового навантаженні [24] до досліджень конструкцій з базальтофібробетону [25, 26, 27, 28 та ін.].

Разом з тим, кількість досліджень з армування бетону базальтовою фіброю діаметром 7...20 мкм з ровінгу залишається обмеженою, що не дозволяє, перед усім, отримати розрахункову залежність міцності бетону на розтяг як функції від довжини, відсотку армування фіброю і міцності бетону, яка могла б застосовуватися при проектуванні конструкцій.

Для цього була започаткована програма відповідних експериментально-теоретичних досліджень, у рамках якої були проведені експериментальні дослідження впливу довжини і відсотку армування базальтовою фіброю з ровінгу на міцність бетону на розтяг [15]. В цій роботі представлені результати подальших експериментальних досліджень по визначенню впливу міцності бетону на стиск і відсотку фібрового армування на міцність базальтофібробетону на розтяг.

Після отримання достатнього об'єму експериментальних даних і їх відповідної обробки, програма передбачає отримання розрахункової залежності міцності бетону на розтяг при армуванні базальтовою фіброю в залежності від довжини фібри, відсотку армування і міцності бетону на стиск.

Об'єкт дослідження – бетон, армований фібровою арматурою з базальтового ровінгу.

Метою роботи є отримання експериментальних даних щодо міцності на розтяг бетону армованого базальтовою фіброю з ровінгу в залежності від міцності бетону на стиск і відсотку армування фіброю.

Задачі дослідження:

- експериментально встановити залежність міцність бетону на розтяг при армуванні фіброю з базальтового ровінгу від міцності бетону на стиск;

- експериментально встановити залежність міцність бетону на розтяг від відсотку армування фіброю з базальтового ровінгу.

Предмет дослідження

Експериментальні дослідження включали в себе випробування на розтіг при згині за [29] трьох серій призм розміром 100x100x400, армованих фібровою арматурою з базальтового ровінгу діаметром 16 мкм і довжиною 24 мм з подальшим визначенням, за відповідними розрахунковими залежностями, міцності бетону на осьовий розтяг.

У якості факторів, що варіюються, були прийняті відсоток армування фіброю і міцність бетону на стиск. Відсоток армування фіброю варіювався від 0% (зразки без фібрового армування) до 8% в залежності від маси цементу у сухому стані. Міцність бетону стиск варіювалась у межах від 22,6 до 38,5 МПа, що відповідає класам бетону C20/25...C30/35.

Перша серія зразків виготовлялась з дрібнозернистого бетону класу міцності C20/25 і включала 25 зразків, в тому числі 5 зразків-близнюків з бетону без армування і по 5 зразків-близнюків, армованих фіброю довжиною 24 мм з вмістом фібри за масою, відповідно, 2%, 4%, 6% та 8% від маси цементу в сухому стані.

Друга серія зразків виготовлялась з дрібнозернистого бетону класу міцності на стиск C25/30 і включала 25 зразків, в тому числі 5 зразків-близнюків без армування і по 5 зразків-близнюків, армованих фіброю довжиною 24 мм з вмістом фібри за масою, відповідно, 2%, 4 %, 6% та 8% від маси цементу в сухому стані.

Третя серія зразків виготовлялась з дрібнозернистого бетону класу міцності на стиск C30/35 і включала 20 зразків, в тому числі 5 зразків-близнюків зразків без армування і по 5 зразків-близнюків, армованих фіброю довжиною 24 мм з вмістом фібри за масою, відповідно, 2%, 4 % та 6% від маси цементу в сухому стані.

Загальні відомості щодо складу експериментальних досліджень наведені у таблиці 1.

Зразки виготовлялися з дрібнозернистого

бетону із застосуванням шлакопортландцементу ШПЦ Ш/А-400 та піску річкового з модулем крупності 1,15...1,35 мм. Співвідношення цементу та піску варіювалося залежно від класу бетону. Кількість води приймалося в залежності від зручності виготовлення бетонної суміші.

Для армування бетону застосовувалася фібра з базальтового ровінгу діаметром 16 мікрон довжиною 24 мм виробництва ТОВ "Технобазальт-Інвест". Дозування ровінгу проводилося за масою в сухому стані.

При виготовленні зразків на першому етапі проводилося перемішування сухої суміші цементу та піску, потім вводилася базальтова фібра і на останньому етапі – вода. Після ретельного перемішування бетонна суміш укладалася у форми та ущільнювалася на вібростенді. Твердіння зразків відбувалося у приміщенні лабораторії за температури повітря $+15...+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розпалубка зразків проводилася на 3-4 день після бетонування.

Для визначення міцності бетону на стиск (клас бетону) були виготовлені зразки-куби з розмірами $100\times100\times100\text{ мм}$.

Міцність бетону на розтяг при згині визначалася у віці 28 діб шляхом випробувань 5-ти зразків-близнюків. Загальна кількість випробуваних зразків призм становила 70 штук.

Випробування зразків на розтяг при згині проводилося як балки на двох опорах, одна з яких була шарнірно-нерухомою, що забезпечує тільки поворот зразка, а друга – шарнірно-рухомий, що забезпечує як поворот, так і зміщення зразка в площині згину. Зосереджені сили прикладалися у третинах прольоту через розподільну траверсу (рис.1).

Навантаження зразків здійснювалося безперервно зі швидкістю $0,05\text{ МПа/с}$. Навантаження подавалося за допомогою масляного домкрату, а її величина контролювалася зразковим динамометром. Максимальне зусилля, що виникло в процесі випробування, приймалося за навантаження за руйнуюче навантаження F_u .

Міцність бетону на осьовий розтяг визначалася за результатами випробувань зразків на розтяг при згині за [29] за допомогою перехідного коефіцієнта 0,55.

Міцність бетону на стиск визначалася за результатами випробувань зразків-кубів з розмірами $100\times100\times100\text{ мм}$ і переходом до базового зразка з розмірами $150\times150\times150\text{ мм}$ за допомогою коефіцієнту 0,95 за [29].

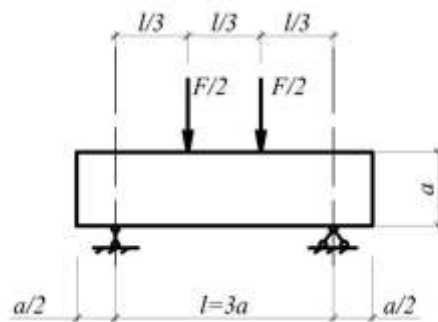


Рис. 1. Схема випробування зразків

Fig. 1. Sample testing scheme

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Міцність бетону на стиск визначалася за результатами випробувань 5-ти кубів на 28 добу після бетонування і складала:

- для зразків серії I – у діапазоні значень $22,6...26,5\text{ МПа}$, при середньому значенні міцності – $24,2\text{ МПа}$, що відповідає класу бетону за міцністю на стиск С20/25;
- для зразків серії II – у діапазоні значень $29,7...35,8\text{ МПа}$, при середньому значенні міцності – $31,1\text{ МПа}$, що відповідає класу бетону за міцністю на стиск С25/30;
- для зразків серії III – у діапазоні значень $35,5...38,5\text{ МПа}$, при середньому значенні міцності – $34,8\text{ МПа}$, що відповідає класу бетону за міцністю на стиск С30/35.

Результати випробувань дослідних зразків наведено у таблиці 2.

Табл. 1. Склад експериментальних досліджень**Table 1.** Composition of experimental research

№ п/п	Серія	Клас бетону на стиск	Марка зразку	Кількість зразків, шт.	Дані про бетонну суміш	
					В/Ц	Вміст фібри від маси цементу в сухому стані, ρ, %
1	2	3	4	5	6	7
1	I	C20/25	I-0-1	5	0,40	-
2			I-0-2			
3			I-0-3			
4			I-0-4			
5			I-0-5			
6			I-2-1	5	0,45	2,0
7			I-2-2			
8			I-2-3			
9			I-2-4			
10			I-2-5			
11			I-4-1	5	0,45	4,0
12			I-4-2			
13			I-4-3			
14			I-4-4			
15			I-4-5			
16			I-6-1	5	0,50	6,0
17			I-6-2			
18			I-6-3			
19			I-6-4			
20			I-6-5			
21			I-8-1	5	0,55	8,0
22			I-8-2			
23			I-8-3			
24			I-8-4			
25			I-8-5			
26	II	C25/30	II-0-1	5	0,45	-
27			II-0-2			
28			II-0-3			
29			II-0-4			
30			II-0-5			
31			II-2-1	5	0,45	2,0
32			II-2-2			
33			II-2-3			
34			II-2-4			
35			II-2-5			

продовження таблиці 1
continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7
36	II	C20/25	II-4-1	5	0,45	4,0
37			II-4-2			
38			II-4-3			
39			II-4-4			
40			II-4-5			
41			II-6-1	5	0,50	6,0
42			II-6-2			
43			II-6-3			
44			II-6-4			
45			II-6-5			
46			II-8-1	5	0,55	8,0
47			II-8-2			
48			II-8-3			
49			II-8-4			
50			II-8-5			
51	III	C30/35	III-0-1	5	0,45	-
52			III-0-2			
53			III-0-3			
54			III-0-4			
55			III-0-5			
56			III-2-1	5	0,50	2,0
57			III-2-2			
58			III-2-3			
59			III-2-4			
60			III-2-5			
61			III-4-1	5	0,50	4,0
62			III-4-2			
63			III-4-3			
64			III-4-4			
65			III-4-5			
66			III-6-1	5	0,55	6,0
67			III-6-2			
68			III-6-3			
69			III-6-4			
70			III-6-5			

Руйнування всіх дослідних без фібрового і з фібровим армуванням, незалежно від вмісту фібри та міцності бетону на стиск, мало

крихкий характер і відбувалося одночасно з утворенням першої нормальної тріщини.

Табл. 2. Результати експериментальних досліджень
Table 2 Results of experimental research

№ п/п	Марка зразку	Результати досліджень					
		Руйнівне наванта- ження, F_u , Н	Міцність бе- тону на роз- тяг при згині $f_{ct,u}$, МПа	Міцність бетону на розтяг при згині, приведена до базово- вого зразка $f_{ct,u,b}$, МПа		Міцність бетону на осьовий розтяг $f_{ct,f}$, МПа	
				зразок	середнє	зразок	середнє
1	2	3	4	4	6	7	8
1	I-0-1	11191	3,36	3,09	2,98	1,70	1,64
2	I-0-2	10198	3,06	2,81		1,55	
3	I-0-3	11589	3,48	3,20		1,76	
4	I-0-4	9867	2,96	2,72		1,50	
5	I-0-5	11191	3,36	3,09		1,70	
6	I-2-1	10728	3,22	2,96	3,26	1,63	1,79
7	I-2-2	10397	3,12	2,87		1,58	
8	I-2-3	12847	3,85	3,55		1,95	
9	I-2-4	12118	3,64	3,34		1,84	
10	I-2-5	12913	3,87	3,56		1,96	
11	I-4-1	8609	2,58	2,38	3,02	1,31	1,66
12	I-4-2	12516	3,75	3,45		1,90	
13	I-4-3	11191	3,36	3,09		1,70	
14	I-4-4	10993	3,30	3,03		1,67	
15	I-4-5	11324	3,40	3,13		1,72	
16	I-6-1	13840	4,15	3,82	3,41	2,10	1,88
17	I-6-2	10529	3,16	2,91		1,60	
18	I-6-3	12516	3,75	3,45		1,90	
19	I-6-4	13443	4,03	3,71		2,04	
20	I-6-5	11522	3,46	3,18		1,75	
21	I-8-1	12913	3,87	3,56	3,96	1,96	2,18
22	I-8-2	16621	4,99	4,59		2,52	
23	I-8-3	16025	4,81	4,42		2,43	
24	I-8-4	12449	3,73	3,44		1,89	
25	I-8-5	13708	4,11	3,78		2,08	
26	II-0-1	11870	3,56	3,28	3,31	1,80	1,82
27	II-0-2	13930	4,18	3,84		2,11	
28	II-0-3	12361	3,71	3,41		1,88	
29	II-0-4	10399	3,12	2,87		1,58	
30	II-0-5	11380	3,41	3,14		1,73	
31	II-2-1	15032	4,51	4,15	3,95	2,28	2,17
32	II-2-2	15363	4,61	4,24		2,33	
33	II-2-3	15826	4,75	4,37		2,40	
34	II-2-4	12251	3,68	3,38		1,86	
35	II-2-5	13045	3,91	3,60		1,98	

продовження таблиці 2
continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8
36	II-4-1	12185	3,66	3,36	3,65	1,85	2,01
37	II-4-2	13708	4,11	3,78		2,08	
38	II-4-3	15231	4,57	4,20		2,31	
39	II-4-4	13509	4,05	3,73		2,05	
40	II-4-5	11522	3,46	3,18		1,75	
41	II-6-1	14911	4,47	4,12	3,84	2,26	2,11
42	II-6-2	14171	4,25	3,91		2,15	
43	II-6-3	13045	3,91	3,60		1,98	
44	II-6-4	13244	3,97	3,66		2,01	
45	II-6-5	14171	4,25	3,91		2,15	
46	II-8-1	14767	4,43	4,08	3,86	2,24	2,12
47	II-8-2	13840	4,15	3,82		2,10	
48	II-8-3	13045	3,91	3,60		1,98	
49	II-8-4	16687	5,01	4,61		2,53	
50	II-8-5	11522	3,46	3,18		1,75	
51	III-0-1	11589	3,48	3,20	3,53	1,76	1,94
52	III-0-2	14171	4,25	3,91		2,15	
53	III-0-3	10860	3,26	3,00		1,65	
54	III-0-4	14833	4,45	4,09		2,25	
55	III-0-5	12516	3,75	3,45		1,90	
56	III-2-1	17813	5,34	4,92	4,04	2,70	2,22
57	III-2-2	11853	3,56	3,27		1,80	
58	III-2-3	16820	5,05	4,64		2,55	
59	III-2-4	16224	4,87	4,48		2,46	
60	III-2-5	10529	3,16	2,91		1,60	
61	III-4-1	15495	4,65	4,28	3,69	2,35	2,10
62	III-4-2	11853	3,56	3,27		1,80	
63	III-4-3	14966	4,49	4,13		2,27	
64	III-4-4	14701	4,41	4,06		2,23	
65	III-4-5	12317	3,70	3,40		1,87	
66	III-6-1	13045	3,91	3,60	4,09	1,98	2,20
67	III-6-2	13641	4,09	3,76		2,07	
68	III-6-3	13310	3,99	3,67		2,02	
69	III-6-4	17548	5,26	4,84		2,66	
70	III-6-5	14767	4,43	4,08		2,24	

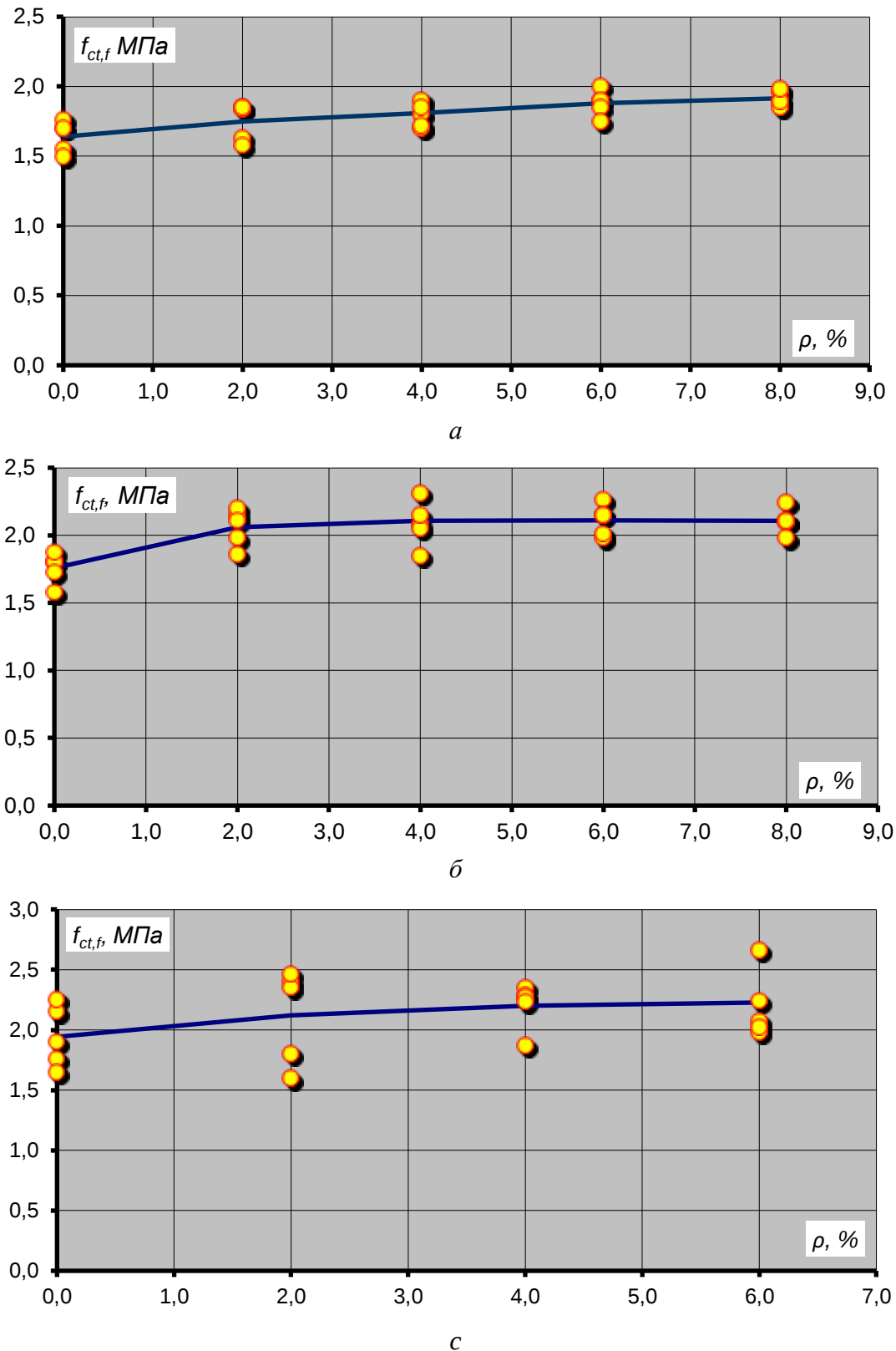


Рис. 2. Залежність міцності бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону: а – C20/25; б - C25/30; c – C30/35

Fig. 2. Dependence of concrete strength on axial tension on the percentage of basalt fiber reinforcement and the class of concrete: a – C20/25; b - C25/30; c – C30/35

Результати проведених експериментальних досліджень наведені на рис.2-4 у вигляді залежності міцності бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону (рис.2), залежності середніх значень міцності

бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону (рис.3), залежності відносного значення міцності бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону (рис.4).

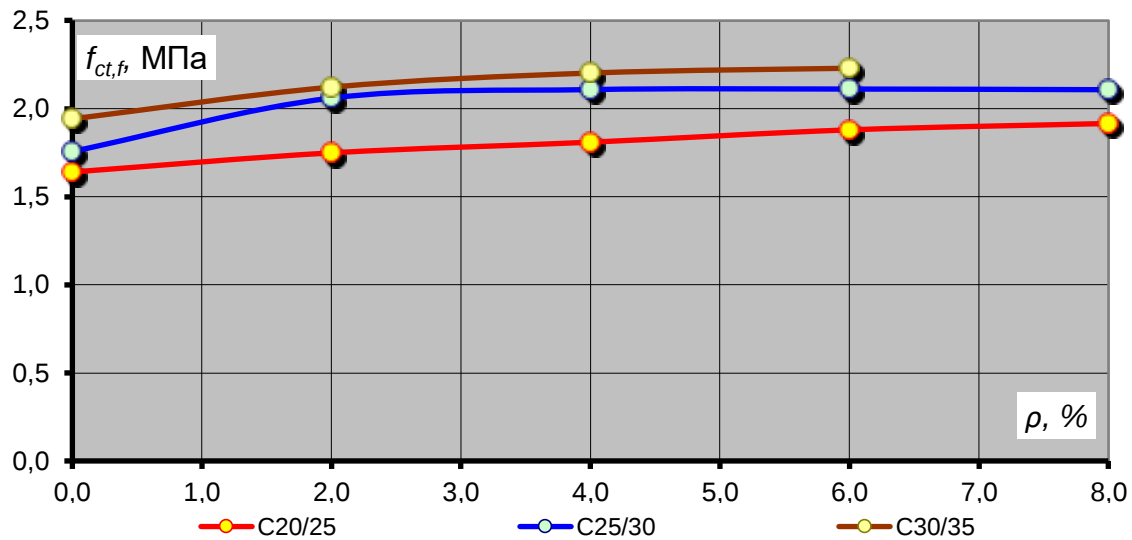


Рис. 3. Залежність середніх значень міцності бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону

Fig. 3. Dependence of the medium values of the axial tensile strength of concrete on the percentage of basalt fiber reinforcement and the class of concrete

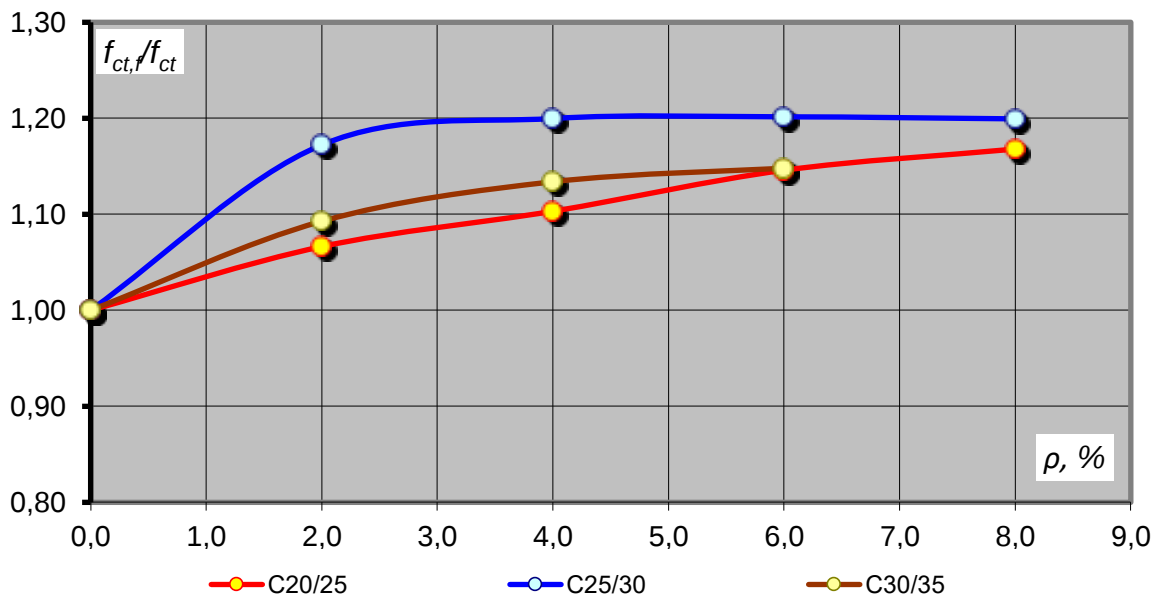


Рис. 4. Залежності відносного (у порівнянні з бетоном без армування) значення міцності бетону на осьовий розтяг від відсотку армування базальтовою фіброю і класу бетону

Fig. 4. Dependencies of the relative (compared to concrete without reinforcement) axial tensile strength of concrete on the percentage of basalt fiber reinforcement and the class of concrete

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Узагальнення, систематизація і аналіз результатів проведених експериментальних досліджень дозволяють зробити такі основні висновки.

Армування фіброю з базальтового ровінгу призводить до збільшення міцності бетону на осьовий розтяг (рис.2, табл.2). Так, для бетону класу C20/25 міцність на розтяг при відсотках армування в діапазоні 2,0...8,0% збільшилася з 1,64 до 2,18 МПа (табл.2), класу C25/30 – з 1,82 до 1,17 МПа (табл.2), для бетону класу C30/35 при відсотках армування в діапазоні 2,0...6,0% - з 2,12 до 2,22 МПа (табл.2).

При цьому, найбільш інтенсивне зростання міцності на розтяг мало місце при збільшенні відсотку армування в межах 2,0...4,0% (рис.3). При відсотках армування у межах 6,0...8,0% це зростання припиняється (рис.3), що свідчить про те, що найбільш ефективним є фіброве армування у межах 2,0...4,0% незалежно від класу бетону на міцність при стиску.

За інших рівних умов, зростання міцності бетону на осьовий розтяг при збільшенні відсотку фібрового армування в межах 2,0...8,0% складає 15...20% у порівнянні з бетоном без армування (рис.4).

Отримані експериментальні дані в цілому кореспондуються з результатами [15] і потребують проведення подальших експериментальних досліджень з метою накопичення відповідних даних достатніх для отримання теоретичної залежності міцності бетону на розтяг при армуванні базальтовою фіброю з ровінгу від довжини фібри, відсотку армування і класу бетону за міцністю на стиск.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б.В.2.6-145:2010. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні умови. – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2010. 52с.*
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 71с.*
3. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2011. 166с.*
4. FIB Bulletin 40: FRP reinforcement in RC structures. // *International Federation for Structural Concrete 2007. - 160 p.*
5. Bond of non-metallic reinforcement // *Bond of reinforcement in concrete. State-of-art report prepared by Task Group Bond Models. fib. – Aug 2000. – pp. 315–394.*
6. Wang Z., Goto Y., Joh O. Bond Strength of Various Types of Fiber Reinforced Plastic Rods // *Proceedings, 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures. SP 188-93. – 1999. – pp.1117-1130.*
7. Micelli F., Nanni A., La Tegola A. Effects of Conditioning Environments on GFRP Bars // *22nd SAMPE Europe International Conference, CNIT Paris, 2001. – pp. 1–13.*
8. Климов Ю.А., Солдатченко А.С. Експериментальні дослідження міцності та жорсткості згинальних елементів армованих композитною неметалевою арматурою // *Містобудування та територіальне планування, Науково-технічний збірник – Київ, КНУБА, 2010-Випуск 38. С. 203-210.*
9. Климов Ю.А. Експериментальні дослідження міцності стиснутих бетонних елементів з композитною стержневою арматурою. // *International periodic scientific journal, Modern Engineering and Innovative technologies, Issue №31, Part 1, February 2024, pp.117-121.*
10. ACI 440.1R-15 - Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars – *ACI Committee 440, American Concrete Institute (ACI). -83p.*
11. CAN/CSA-S806-16(R2021) Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers – *Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, 2021, 201p.*
12. CNR-DT 203/2006. Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber-reinforced polymer bars – *Rome, 2006- 35p.*
13. ДСТУ-Н Б.В.2.6-185:2012 Настанова з проектування бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто-і склоровінгу. – *Мінрегіонбуд України. Київ, 2012. 28с.*
14. CNR-DT 204/2006. Guide for the design and construction of fiber-reinforced concrete structures. – *Rome-CNR November 2007- 55p.*

15. **Klymov Y., Smorkalov D.** Experimental Research of Bending Tensile Strength of Concrete Reinforced with Basalt Fibers // *International Scientific Session on Applied Mechanics XIAIP Conf. Proc.* 2949, p.020013-1–020013-8.
16. **Wang, J., Ma, Y., Zhang, Y., Chen, W.** Experimental research and analysis on mechanical properties of chopped Basalt fiber reinforced concrete // *Gongcheng Lixue Engineering Mechanics*, 2014, 31 (SUPPL), pp. 99–102.
17. **Chaohua Jiang, Ke Fan, Fei Wu, Da Chen .** Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced. Concrete // *Materials and Design*. – 2014. – № 58. – pp. 187–192.
18. **Francis Luther King** Basalt Fiber: An Ancient Material for Innovative and Modern Application // *Middle-East Journal of Scientific Research* 22 (2,) pp.308-312.
19. **Zhongyu Lu, Guijun Xian, Hui Li** Experimental Study on the Mechanical Properties of Basalt Fibres and Pultruded Bfrp Plates at Elevated Temperatures // *Polymers and Polymer Composites, Volume 23 Issue 5, November 2015*, pp.277-284.
20. **Ксеншкевич Л. Н., Барабаш И. В., Даниленко А. В.** Вплив базальтової фібри на міцність цементного каменю // *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 2011. №31. С. 163–167.
21. **Abdulhadi M.** A comparative study of basalt and polypropylene fibers reinforced concrete on compressive and tensile behavior // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2014. Vol. 9. №6. pp. 295–300.
22. **Elshekh A. E. A., Shafiq N., Nuruddin M. F., Fathi A.** Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete // *Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 14. N 10. pp.1073–1077.
23. **Salih, A. F. M., Shafiq, N., Nuruddin, M.F., Elheber, A., Memon, F. A.** Comparison of the effects of different fibers on the properties of self-compacting concrete // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, (2014), 7 (16), pp. 3332–3341.
24. **Dong, J.** Mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete at low cycle impact // *Applied Mechanics and Materials*, (2012), 174–177, pp. 1524–1527.
25. **Новицкий А.Г., Ефремов М.В.** Аспекти застосування базальтової фібри для армування бетону // *Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка»*. Київ. 2010. Вип. 36. С. 22–26.
26. **Деревянко В. Н., Саламаха Л. В.** Дисперсно армовані бетони для влаштування підлог// *Будівельні конструкції «Сучасні технології бетону»*, 2009. №72. С. 488–492.
27. **Коваль П. М., Бабяк І. П., Гримак О. Я.** Дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва. // *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 2011. №22. С. 93–100.
28. **Толмачов С. М., Беліченко О. А., Дорошенко М. А., Покуса Ю. П.** Порівняльна характеристика застосування поліпропіленової і базальтової фібри у дорожніх бетонах // *Механіка та математичні методи IV*, №2, 2022, С. 65-74.
29. **ДСТУ Б В.2.7-214:2009** Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками – *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2009. 43с.

REFERENCES

1. **DSTU-N B.V.2.6-145:20110.** Zakhyst betonnykh i zalizobetonnykh konstrukttsii vid korozii. Zahalni tekhnichni umovy. – *Minrehionbud Ukrainy*. Kyiv, 2010. 52s.
2. **DBN B.2.6-98-2009/** Konstrukttsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukttsii. Osnovni polozhennia. – *Minrehionbud Ukrainy*. Kyiv, 2011. 71s.
3. **DSTU B.V.2.6-156:2010.** Betonni ta zalizobetonni konstrukttsii z vazhkoho betonu. Pravyly proektuvannia – *Minrehionbud Ukrainy*. Kyiv, 2011. 166s.
4. **FIB Bulletin 40:** FRP reinforcement in RC structures. // *International Federation for Structural Concrete* 2007. – 160p.
5. **Bond of non-metallic reinforcement** // *Bond of reinforcement in concrete. State-of-art report prepared by Task Group Bond Models. fib*. – Aug 2000. – pp. 315–394.
6. **Wang Z., Goto Y., Joh O.** Bond Strength of Various Types of Fiber Reinforced Plastic Rods // *Proceedings, 4th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*. SP 188-93. – 1999. – pp.1117-1130.
7. **Micelli F., Nanni A., La Tegola A.** Effects of Conditioning Environments on GFRP Bars // *22nd SAMPE Europe International Conference, CNIT Paris*, 2001. – pp. 1–13.
8. **Klymov Y.A., Soldatchenko A.S**

- Експериментальні дослідження мitsnosti та zhorstkosti zghynalnykh elementiv armovanykh kompozytnoiu nemetalevoiu armaturoiu // *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* – Kyiv, KNUBA, 2010- Vypusk 38. S. 203-210.
9. **Klymov Y.A.** Експериментальні дослідження мitsnosti stysnutykh betonnykh elementiv z kompozytnoiu sterzhnevoiu armaturoiu // *International periodic scientific journal, Modern Engineering and Innovative technologies, Issue №31, Part 1, February 2024*, pp.117-121.
 10. **ACI 440.1R-15** - Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars – *ACI Committee 440, American Concrete Institute (ACI)*. -83p.
 11. **CAN/CSA-S806-16(R2021)** Design and Construction of Building Components with Fibre Reinforced Polymers – *Canadian Standards Association, Toronto, Ontario, Canada, 2021*, 201p.
 12. **CNR-DT 203/2006**. Guide for the design and construction of concrete structures reinforced with fiber-reinforced polymer bars. – *Rome*, 2006- 35p.
 13. **DSTU-N B.V.2.6-185:2012** Nastanova z proektuvannia betonnykh konstruktsii z nemetalevoiu kompozytnoiu armaturoiu na osnovi bazalto-i sklorovinu. – *Minrehionbud Ukrainy*. Kyiv, 2012. 28s.
 14. **CNR-DT 204/2006**. Guide for the design and construction of fiber-reinforced concrete structures. – *Rome-CNR November 2007*- 55p.
 15. **Klymov Y., Smorkalov D.** Experimental Research of Bending Tensile Strength of Concrete Reinforced with Basalt Fibers // *International Scientific Session on Applied Mechanics XIAIP Conf. Proc.* 2949, pp.020013-1–020013-8.
 16. **Wang, J., Ma, Y., Zhang, Y., Chen, W.** Experimental research and analysis on mechanical properties of chopped Basalt fiber reinforced concrete // *Gongcheng Lixue Engineering Mechanics*, 2014, 31 (SUPPL), pp. 99–102.
 17. **Chaohua Jiang, Ke Fan, Fei Wu, Da Chen.** Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced. Concrete // *Materials and Design*. – 2014. – № 58. – pp. 187–192.
 18. **Francis Luther King** Basalt Fiber: An Ancient Material for Innovative and Modern Application // *Middle-East Journal of Scientific Research* 22 (2,) pp.308-312.
 19. **Zhongyu Lu, Guijun Xian, Hui Li** Experimental Study on the Mechanical Properties of Basalt Fibres and Pultruded Bfrp Plates at Elevated Temperatures // *Polymers and Polymer Composites, Volume 23 Issue 5, November 2015*, pp.277-284.
 20. **Ksenshkevych L.N., Barabash Y.V., Danylenko A. V.** Vplyv bazaltovoi fibry na mitsnist tsementnoho kameniu // *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, 2011. №31. S. 163–167.
 21. **Abdulhadi M.** A comparative study of basalt and polypropylene fibers reinforced concrete on compressive and tensile behavior // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2014. Vol. 9. №6. pp. 295–300.
 22. **Elshekh A. E. A., Shafiq N., Nuruddin M. F., Fathi A.** Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete // *Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 14. N 10. pp.1073–1077.
 23. **Salih, A. F. M., Shafiq, N., Nuruddin, M.F., Elheber, A., Memon, F. A.** Comparison of the ef-fects of different fibers on the properties of self-compacting concrete // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, (2014) 7 (16), pp. 3332–3341.
 24. **Dong, J.** Mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete at low cycle impact // *Applied Mechanics and Materials*, (2012), 174–177, pp. 1524–1527.
 25. **Novytskyi A.H., Efremov M.V.** Aspekty zastosuvannia bazaltovoi fibry dlia armuvannia betonu. // *Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika»*. Kyiv. 2010. Vyp. 36. S. 22–26.
 26. **Derevianko V. N., Salamakha L. V.** Dyspersno armovani betony dlia vlashtuvannia pidloh // *Budivelni konstruktsii «Suchasni tekhnolohii betonu»*, 2009. №72. S. 488–492.
 27. **Koval P. M., Babiak I. P., Hrymak O. Ya.** Doslidzhennia vplyvu bazaltovoi fibry na vlastyvosti betonu dlia transportnoho budivnytstva. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, 2011. №22. S. 93–100.
 28. **Tolmachov S. M., Bielichenko O. A., Doroshenko M. A., Pokusa Yu. P.** Porivnialna kharakterystyka zastosuvannia polipropilenovoi i bazaltovoi fibry u dorozhnikh betonakh // *Mekhanika ta matematychni metody IV*, №2, 2022, St. 65-74.
 29. **DSTU B V.2.7-214:2009**. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy – *Minrehionbud Ukrainy*. Kyiv, 2009. 43s 2009. – 43s.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TENSILE STRENGTH OF CONCRETE REINFORCED WITH BASALT FIBER

Yulii KLYMOV

Summary. Non-metallic composite fittings are increasingly used in modern construction due to their high mechanical characteristics, corrosion resistance, durability in concrete and aggressive external environments, and other properties. At the same time, usually, non-metallic composite reinforcement is used in the form of rods with the main supporting element in the form of basalt, glass, aramid or roving made of other materials, which is thin fibers with a diameter of 7...20 mm

The specified roving, as an element of reinforcement of concrete structures, will be used in the form of fiber to a much lesser extent, although it is a real alternative to traditional steel fiber with all the advantages of fiber reinforcement, to which corrosion resistance is also added. The current situation is explained by the limited number of experimental and theoretical studies of non-metallic fiber reinforcement, in particular, tensile strength, which is one of the main advantages of fiber reinforcement of concrete.

This article presents the results of experimental studies of the tensile strength of concrete reinforced with fiber from basalt roving with a diameter of 16 μm and a length of 24 mm, which included bending tensile tests of three series of concrete samples with a strength class of compression, respectively, C20/25, C25/30, C30/35 and percentage of fiber reinforcement within 2.0...8%.

As a result of the conducted research, it was established that the fiber reinforcement from the base-board roving leads to an increase in the axial tensile strength of concrete. At the same time, the most intensive increase in tensile strength took place when the percentage of reinforcement was increased in the range of 2.0...4.0%. With a further increase in the percentage of reinforcement in the range of 6.0...8.0%, this growth stopped, which indicates that fiber reinforcement in the range of 2.0...4.0% is the most effective, regardless of the class of concrete in terms of compressive strength.

Other things being equal, the increase in axial tensile strength of concrete with an increase in the percentage of fiber reinforcement within the limits of 2.0...8.0% is 15...20% compared to concrete without reinforcement.

Keywords: basalt fiber; roving; concrete; strength; tension.

Стаття надійшла до редакції 15.08.2024

..