

УДК 691.328.4

С.Й.Солодкий, Ю.В.Турба
Національний університет "Львівська політехніка"
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ БЕТОНІВ, АРМОВАНИХ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЮ ФІБРОЮ

Проведено експериментально-статистичне моделювання тріщиностійкості бетонів, армованих поліпропіленовою фіброю. Реалізований трирівневий трьохфакторний експеримент армування бетону поліпропіленовою фіброю. В якості факторів було обрано наступні технологічні чинники: витрату фібри, відношення довжини фібри до максимального розміру крупного заповнювача та коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача.

Ключові слова: експериментально-статистичне моделювання, дисперсно армований бетон, фібробетон, фібра, тріщиностійкість, механіка руйнувань.

Табл 3. Літ 10

С.Й. Солодкий, Ю.В.Турба
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОНА, АРМИРОВАННОЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЮ
ФИБРОЮ

Проведено експериментально-статистичне моделювання тріщиностійкості бетонів, армованих поліпропіленовою фіброю. Реалізований трьохуровневий трьохфакторний експеримент армування бетону поліпропіленовою фіброю. В якості факторів були вибрані наступні технологічні параметри: витрати фібри, відношення довжини фібри до максимального розміру крупного заповнювача та коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача.

Ключевые слова: експериментально-статистичне моделювання, дисперсно армований бетон, фібробетон, фібра, тріщиностійкість, механіка руйнування.

S. Solodkyy, Y.Turba
EXPERIMENTAL AND STATISTICAL MODELING CRACK RESISTANCE OF CONCRETE,
REINFORCED WITH FIBER OF POLYPROPYLENE

One of the promising structural materials that can compensate for the major disadvantages of concrete - low strength in tension and fragility, is dispersed-reinforced concrete - fibre concretes. Fibre concretes has several times more strength in tension shear, impact strength, toughness and crack resistance, frost resistance, water resistance, resistance and fire resistance. For performance fiber-reinforced concrete damage may exceed 15-20 times the concrete. These concretes are one of the various types of wide class of composite (composite) materials, which are nowadays more and more widely used in various industries. Interest in fiber-reinforced concrete and fibre concentrated in its prospective application in these designs: road and airport paving, more resistant to dynamic loads and abrasion; floor industrial buildings; responsible subjected to cavitation of the water drains waterworks; facing elements of industrial and residential buildings, concrete pipes and poles of power lines, and other composite structures. The Department "Roads" National University "Lviv Polytechnic" were dispersed fracture studies reinforced concrete (reinforcement performed by different types of fiber) from the standpoint of linear fracture mechanics.

Keywords: experimental and statistical modeling, dispersion reinforced concrete, fiber concrete, fiber, fracture toughness, fracture mechanics.

Вступ. Сьогодні будівельної галузі характеризується стрімким зростанням застосування цементного бетону, який став основним матеріалом для різних видів капітального будівництва, в тому числі дорожнього. Проте, тріщиноутворення є істотною проблемою дорожніх одягів із застосуванням матеріалів на портландцементі, що стримує їх широке впровадження у дорожнє будівництво.

Одним із напрямків вирішення даної проблеми є дисперсне армування бетону сталеву, поліпропіленову, скловолоконною та базальтовою фіброю. Одними із кращих макросинтетичних волокон для армування покриттів доріг та аеродромів, промислових підлог є поліпропіленова фібра, що є економічно-вигідною альтернативою сталевим волокнам.

Постановка проблеми. Більшість дослідників підтверджують позитивний вплив армування бетону фіброю різних видів на його показники міцності на розтяг при згині, динамічної міцності і тріщиностійкості. Проте, на сьогодні відсутні аналітичні залежності даних показників від технологічних чинників, у тому числі - витрати фібри.

Методи і критерії механіки руйнування, в основу яких покладені в'язкість руйнування та енергія руйнування, дозволяють зробити кількісне та якісне оцінювання ефективності тих чи інших технологічних заходів. Експериментально-статистичне моделювання дає змогу комплексно оцінити і наочно представити результат дисперсного армування у взаємозв'язку з показниками макроструктури бетону.

Аналіз останніх досліджень. Більшість дослідників [3, 6-10] приділяють увазі при дисперсному армуванні бетонів його підвищеним характеристикам міцності порівняно з неармованим бетоном. Проте бетони високої міцності можуть мати низьку тріщиностійкість, що недостатньо досліджено на сьогоднішній день.

Невирішені частини проблеми. Введення фібрових волокон не є гарантом підвищення тріщиностійкості цементного бетону [5]. Ретельно підібрані технологічні чинники бетонної суміші суттєво підвищують показники тріщиностійкості, але для конкретного фібрового армування їх потрібно підбирати індивідуально.

Мета. Метою даної роботи є дослідження за критеріями механіки руйнування впливу технологічних чинників на ефективність дисперсного армування бетону шляхом використання апарату експериментально-статистичного моделювання.

Основні результати дослідження. Приготування і випробування бетонних зразків здійснювали відповідно до вимог [1, 2].

Для приготування бетонних сумішей використали матеріали:

- портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500 загально-будівельного призначення;
- заповнювачі: дрібний – кварцовий пісок з модулем крупності 1,29, щебневий відсів фракції 1,25-2,5 мм; крупний – гранітний щебінь фракції 5-30,0 мм.

Використано жорстку хвилясту поліпропіленову фібру (табл. 1).

Таблиця 1.

Хімічні та фізичні властивості поліпропіленової фібри

Властивість	Значення	Фото
Довжина фібри	45 мм	
Форма перерізу	Прямокутна (1,0·0,5 мм)	
Тип/форма	Макро/мононитки	
Питома вага	0,91 г/см ³	
Температура плавлення	164 °С	
Температура займання	>550 °С	

Склад бетонної суміші проектували за методом абсолютних об'ємів, а склад заповнювачів - за принципом неперервної гранулометрії.

Характеристики міцності і тріщиностійкості бетонів визначали у віці 28 діб під час рівноважних механічних випробуваннях призм з наперед створеною тріщиною нормального відриву за схемою триточкового згину із записом повної діаграми навантаження-прогин (F-V) на спеціальній установці [6].

Як технологічні чинники впливу на ефективність дисперсного армування бетону прийнято витрату фібри, відношення довжини фібри до максимального розміру крупного заповнювача та коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача. Відповідно до цього математичне планування експерименту представлено в табл. 2, а як план експерименту використано трифакторний трирівневий план, близький до Д-оптимального [4].

Таблиця 2.

Математичне планування експерименту

Параметри планування	Характеристика			
	нижній рівень “-1”	середній рівень “0”	верхній рівень “+1”	інтервал варіювання
Витрата фібри, кг/м ³ бетонної суміші	4,0	7,0	10,0	3,0
Відношення довжини фібри до максимального розміру крупного заповнювача, l_f/d_{max}	1,5	2,25	3,0	0,75
Коефіцієнт розсунення зерен крупного заповнювача	1,1	1,4	1,7	0,3

Як критерії оптимізації обрали:

Y_1 – міцність на стиск, R_b , МПа;

Y_2 – міцність на розтяг при згині, R_{tb} , МПа;

Y_3 – питомі енерговитрати на статичне деформування до моменту початку руху магістральної тріщини, G_i , Дж/м²;

Y_4 – енерговитрати на локальне статичне деформування в зоні магістральної тріщини, W_1 , 10⁻² Н·м;

Y_5 – питомі ефективні енерговитрати на статичне руйнування, G_F , Дж/м²;

Y_6 – статичний критичний коефіцієнт інтенсивності напружень (в'язкість руйнування), K_{1c} , МПа^{-1/2}.

Матриця планування і результати реалізації експерименту наведені в табл. 3

Таблиця 3.

Матриця планування і результати трифакторного трирівневого експерименту

Точки плану u	Матриця планування				Критерії оптимізації, Y_i					
	Витрата фібри	Відношення довжини фібри до максимального розміру крупного заповнювача	Коефіцієнт розсунення		R_b , МПа	R_{tb} , МПа	G_i , Дж/м ²	W_1 , 10 ⁻² Н·м	G_F , Дж/м ²	K_{1c} , МПа ^{-1/2}
N_1	1	+1	+1	+1	52,8	9,47	150,95	347,78	699,90	0,76
	2	+1	+1	-1	36,5	7,93	170,44	265,07	600,03	0,59
	3	+1	-1	+1	57,9	10,93	225,48	380,17	804,86	0,90
	4	+1	-1	-1	57,8	10,95	178,17	469,78	890,15	1,01
	5	-1	+1	+1	49,7	9,47	176,18	236,29	542,78	0,74
	6	-1	+1	-1	38,7	10,04	174,42	326,12	656,88	0,90
	7	-1	-1	+1	46,2	8,96	162,03	305,71	618,43	0,79
	8	-1	-1	-1	52,9	10,80	179,10	370,73	746,51	0,92
N_α	9	+1	0	0	39,6	9,60	164,76	328,17	678,29	0,77
	10	-1	0	0	40,0	8,44	159,84	238,32	513,18	0,71
	11	+1	+1	+1	40,8	8,20	142,72	263,30	552,52	0,66
	12	0	-1	0	40,6	8,96	213,86	282,46	624,71	0,76
	13	0	0	+1	32,2	9,41	164,14	285,35	591,69	0,80
	14	0	0	-1	43,8	8,73	151,24	285,21	599,41	0,69
n_0	15	0	0	0	48,5	9,43	277,74	266,16	634,56	0,77
	16	0	0	0	51,1	9,94	280,89	282,05	653,22	0,88
	17	0	0	0	50,4	9,71	295,41	280,21	620,32	0,81

Для запобігання систематичним помилкам і для рівномірного розподілення або усунення некерованих впливів на весь експеримент (коливання вологості та температури повітря, незначні зміни зернового складу) випробування виконали не за порядком, вказаним у матриці, а у випадковій послідовності.

В результаті статистичної обробки експериментальних результатів отримані рівняння регресії 2-го порядку, які пов'язують критерії оптимізації з обраними технологічними чинниками впливу. Поверхні відгуків критеріїв оптимізації будуть представлені в подальших публікаціях.

Висновки. Реалізовано трифакторний план проведення експерименту, на основі якого отримано рівняння регресії, що пов'язують показники міцності і характеристики тріщиностійкості фібробетонів з обраними технологічними чинниками. Побудовано експериментально-статистичні моделі, які дозволяють проектувати склад дорожнього фібробетону за критерієм досягнення максимальної тріщиностійкості.

1. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К.: "Мінрегіонбуд України". - 2010.
2. ДСТУ Б В.2.7-227:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення характеристик тріщиностійкості (в'язкості руйнування) при статичному навантаженні. – К.: "Мінрегіонбуд України". - 2010.
3. Експертний висновок про можливість використання поліпропіленової фібри виробництва ТОВ "СПЕЦНАБ" у дорожньому будівництві. – К.: ДерждорНДІ. - 2007.
4. Солодкий С.Й., Пелешко І.Д., Русин Р.М., Юрченко В.В. Математичне моделювання та оптимізація будівельних композитів.Л.: Видавництво НУ "ЛП". - 2006. – с. 92.
5. Солодкий С.Й., Турба Ю.В. Тріщиностійкість бетонів з малим вмістом фібри. Вісник Національного університету "Львівська політехніка": "Теорія і практика будівництва". - №742 – 2012. – с. 197 – 202.
6. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах. Монографія. – Л.: Видавництво НУ "ЛП". - 2008. – с. 144.
7. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П. Фібробетон – ефективний матеріал для транспортного будівництва. Автошляховик України. - №6. – 2006. – с. 29-32.
8. Талантова К.В., Михеев Н.М., Толстенов С.В., Хвоинский Л.А. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства.Бетон и железобетон в Украине. - №3. – 2002. – с. 6-8.
9. Заключение о результатах сравнительных испытаний образцов тяжелого бетона и фибробетона, где в качестве фибры использованы волокна армирующие полипропиленовые производства ООО "ДиИФ". – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект. - 2004.
10. Брагов А.М, Карихалоо Б., Константинов А.Ю., Ламзин Д.А., Ламунов А.К. Исследование механических свойств фибробетона с помощью методики Кольского и ее модификаций.Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – №4. - 2011. – с. 123-129.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2014