

УДК 691.175:699.8

ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИЙ ФІБРОБЕТОН – НОВИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

О.В. КОВАЛЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Наведено результати досліджень технологічних та фізико-механічних властивостей дрібнозернистого полімерцементного фібробетону як матеріалу для ремонту та реконструкції залізобетонних гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу.

Ключові слова: полімерцементний фібробетон, фізико-механічні властивості, реконструкція, залізобетонна конструкція, експлуатаційна надійність

Актуальність і стан вивчення питання. Основним матеріалом гідротехнічних споруд (ГТС) меліоративних систем є цементний бетон. Забезпечення його довговічності, а отже, надійності та довговічності конструкцій і споруд за прийнятних техніко-економічних показників є досить складною проблемою для водогосподарських, проектних і будівельних організацій. Її розв'язання потребує обґрунтованого пред'явлення проектних вимог до бетону, розробки й забезпечення його оптимальних складів, технології та оптимальних заходів, направлених на

© О.В. Коваленко, 2011

Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99

захист бетонних та залізобетонних конструкцій від агресивного впливу зовнішнього середовища, що має багатофакторний характер. Наприклад, бетонні облицювання зрошувальних каналів, які експлуатуються сезонно або протягом року, зазнають близько 30 видів навантажень або їхніх сполучень [1].

Багатофакторність агресивності середовища виражається наявністю різних температурно-вологісних змін, коливанням рівня і високим ступенем мінералізації ґрунтових вод, корозійною активністю ґрунтів, просіданням та здиманням основ, явищами кавітації, циклічністю зволоження й висушування, заморожування та відтанення. Агресивні фактори більшою або меншою мірою, в тому чи іншому сполученні постійно діють на залізобетонні конструкції ГТС, поступово руйнуючи їх, знижуючи їхню надійність та ефективність. За відсутності надійного захисту або неякісного його виконання витрати на підтримку роботоздатності ГТС можуть перевершити їхню первісну вартість. Тому правильний вибір видів і способів захисту споруд від агресивної дії зовнішнього середовища, застосування науково обґрунтованих методів ведення ремонтно-відновлювальних робіт (РВР) дадуть змогу одержати значну економію засобів, матеріалів і трудових затрат як на стадії реконструкції, так і в процесі експлуатації реконструйованих об'єктів.

Для розв'язання даної проблеми у світовій практиці застосовують бетони нового покоління (нової генерації) [2]. Згідно із сучасною Європейською номенклатурою бетони нової генерації включають високоміцний (High Strength Concrete, HSC); особливо міцний (Ultra High Strength Concrete, HSC); самоущільнюваний (Self Compacting Concrete, SCC); реакційно-порошковий (Reactive Powder Concrete, RPC); особливо міцний легкий (High Strength Lightweight Concrete, HSLWC) та фіброармований (Fiber Reinforced Concrete, FRC) бетони.

Концепція одержання бетонів нової генерації полягає в отриманні матеріалу з мінімальними дефектами в структурі – мікротріщинами й порами, забезпеченні однорідності бетону шляхом зменшення максимального розміру частинок; уведення в склад бетону суперпластифікаторів для максимального розрідження бетонної суміші; створення оптимальної щільності завдяки використанню мікронаповнювачів; викорис-

тання дисперсного армування та необхідного водоцементного відношення (В/Ц) в бетоні; забезпечення оптимальних умов твердіння бетону.

Бетони нового покоління мають унікальні якості: високу міцність і корозійну стійкість, водонепроникність та морозостійкість, регульовану деформативність і тріщиностійкість.

Натомість, навряд чи знайдеться інша галузь будівництва, яка пред'являє настільки широкий перелік вимог до матеріалів і конструкцій, ніж гідротехнічна: оптимальна міцність, висока морозо- і водостійкість, водонепроникність, корозійна стійкість, ударна міцність, стійкість проти спрацювання і кавітаційна стійкість, високий ступінь ремонтпридатності. Отже, впровадження бетонів нового покоління в практику будівництва, відновлення та реконструкції ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу є актуальним і своєчасним завданням.

Одним із перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності ГТС є застосування фібробетонів [3]. Фібробетон (дисперсно-армований бетон) – принципово новий вид бетону, як і традиційний бетон, являє собою композиційний матеріал, що додатково містить волокнистий наповнювач, рівномірно розподілений у тілі бетону.

Застосування фібробетону базується на таких положеннях:

- дисперсне армування дає змогу компенсувати головні недоліки бетону – низьку міцність при розтягу і крихкість;
- фібробетон має в декілька разів вищу міцність на зріз, ударну міцність, тріщиностійкість та ударну в'язкість;
- у результаті суміщення армуючих композиційних елементів і цементної матриці утворюються композити, що мають комплекс властивостей, якими ізольовані матеріали не володіють;
- дисперсне армування бетону нині розглядається як ефективний засіб підвищення його міцності на розтяг і ускладнення утворення тріщин на всіх рівнях його структури, що сприяє підвищенню довговічності.

У цілому ефективна робота армування в бетоні фіброю визначається як мінімум трьома факторами: фізико-механічними характеристиками волокон, адгезією цементної матриці до її поверхні, а також довговічністю матеріалу волокон у лужному середовищі цементного каменю.

Упровадження дисперсно-армованих бетонів у практику реконструкції ГТС повинно бути пов'язане в першу чергу з вирішенням питань використання фібрової арматури необхідної якості та освоєнням технологічних процесів ведення РВР із приготуванням фібробетону безпосередньо на будівельних майданчиках.

Характеристики матеріалів, з яких виробляється фібра, наведено в *табл. 1*.

1. Властивості волокон, що використовуються для виготовлення фібробетону

Волокно	Щільність, г/см ³	Модуль пружності, МПа	Міцність на розтяг, МПа	Подовження при розриві, %
Поліпропіленове	0,9	3500–8000	400–700	10–25
Поліамідне	0,9	1900–2000	720–750	24–25
Поліетиленове	0,95	1400–4200	600–720	10–12
Акрилове	1,1	2100–2150	210–420	25–45
Нейлонове	1,1	4200–4500	770–840	16–20
Віскозне надміцне	1,2	5600–5800	660–700	14–16
Поліефірне	1,4	8400–8600	730–780	11–13
Бавовняне	1,5	4900–5100	420–700	3–10
Карбонове	1,63	280 000–380 000	1200–4000	2,0–2,2
Вуглецеве	2,00	200 000–250 000	2000–3500	1,0–1,6
Скляне	2,60	7000–8000	1800–3850	1,5–3,5
Азбестове	2,60	68 000–70 000	910–3100	0,6–0,7
Базальтове	2,60–2,70	7000–11 000	1600–3200	1,4–3,6
Сталеве	7,80	190 000–210 000	600–3150	3–4

Аналіз властивостей різних фібр дає змогу зробити висновок, що найбільш високоміцною є сталева фібра, від неї за фізико-механічними властивостями значно відстає група полімерних фібр, однак корозійна стійкість і відносно низька вартість визначає їхню привабливість для застосування в гідромеліоративному будівництві. Фібра із лугостійких скляних волокон і базальтова фібра складають третю групу, яка освоюється індустрією будівельних матеріалів і представляє інтерес для подальших досліджень.

За механічними властивостями до металевої фібри близькі надвисокомодульні поліамідні волокна (СВМ-волокна), однак

велика вартість їх змушує вишукувати шляхи зниження відсоткового вмісту цих добавок. Штапельовані високомодульні вуглецеві волокна, наприклад графітізоване ПАН-волокно, яке завоювало собі місце в промисловості конструкційних вуглепластиків, могли б без конкуренції слугувати ідеальним варіантом будівельної фібри, якби не їхня неприпустимо висока вартість.

Фулерени і вуглецеві нанотрубки [4], які стали символом технічного прогресу на рубежі тисячоліть, викликають величезний інтерес у світлі різних аспектів своїх властивостей, у тому числі і за механічною міцністю протяжних структур (сотні ГПа). Однак планувати їхнє використання як компоненти будівельних композицій було б явно передчасно, в першу чергу внаслідок відсутності їхнього рентабельного тоннажного виробництва.

Таким чином, наразі полімерна та базальтова фібра має найбільшу привабливість для створення економічно доцільних цементних композитів з підвищеними фізико-механічними характеристиками.

Для виготовлення фібробетону досліджено доцільність використання різної полімерної фібри: поліпропіленової, нейлонової, поліефірної, поліамідної, акрилової, поліетиленової та ін. Фібра із синтетичних волокон найбільш дешева і хімічно стійка. Але вона має низький модуль пружності та високу граничну деформативність, що зумовлює деформативність бетону, особливо після тріщиноутворення. Водночас вона може ефективно використовуватися для поліпшення реологічних та фізико-механічних властивостей бетону, підвищення його довговічності.

Найбільш широке застосування у світі вже близько 20 років знаходить поліпропіленова фібра. Цю фібру вирізняє відносно високий модуль пружності (до 8000 МПа), значна хімічна стійкість і міцність на розтяг (до 770 МПа), широкий температурний діапазон застосування, неелектропровідність.

Іншим видом бетонів, які ефективно продовжують термін експлуатації гідротехнічних споруд, є модифіковані полімерами – полімерцементні бетони [5].

На відміну від звичайних бетонів з модифікуючими добавками (пластифікаторами, гідрофобізаторами і т.п.), які вно-

сяться мікродозами і не змінюють корінним чином хімізм твердіння та структуру цементного каменю, полімерний складник полімерцементних бетонів відносно великий і слугує зв'язуючим матеріалом як додаток до мінерального в'язучого цементу. При суміщенні цих різних за властивостями речовин утворюються матеріали із складною органо-мінеральною структурою і специфічними властивостями, запозиченими як у цементів, так і полімерів. Змінюючи природу і кількість полімеру, що вводиться, можна широко регулювати технологічні властивості бетонної суміші та фізико-механічні характеристики бетону. Високі адгезійні властивості, підвищені міцнісні характеристики, водонепроникність, корозійна стійкість, тріщиностійкість полімерцементних бетонів забезпечують успішне розв'язання проблеми створення нових ефективних композиційних матеріалів на їх основі.

Завдання, методика і результати наукових досліджень. Нами запропоновано новий композиційний матеріал для відновлення та реконструкції ГТС, який сполучає в собі позитивні якості фібробетону й полімерцементного бетону – полімерцементний фібробетон (ПЦФБ) [6, 7]. ПЦФБ містить у своєму складі портландцемент, кварцовий пісок, воду, суперпластифікатор, полімерну латексну добавку та базальтову або поліпропіленову фібру. Застосування ПЦФБ при реконструкції ГТС дасть змогу розв'язати такі завдання:

- зменшити утворення тріщин при усадці та підвищити якість поверхні бетону;
- підвищити стійкість бетону до проникнення води і хімічних речовин;
- збільшити зв'язність і знизити усадку бетону;
- підвищити міцнісні властивості бетону і тріщиностійкість;
- збільшити ущільнення бетону при вібрації;
- зменшити водовідділення;
- підвищити здатність бетону до зчеплення (адгезія) із «старим» бетоном (бетону, що відновлюється).

Метою даної роботи було визначення впливу вмісту компонентів на міцнісні та технологічні характеристики дрібнозернистого полімерцементного поліпропіленфібробетону.

Дослідження проводили на зразках-балочках розміром 4×4×16 см, які формували протягом 30 с на стандартній вібро-

площадці з подальшим витримуванням у повітряно-сухих умовах при температурі 22–25°C протягом 28 діб.

Під час досліджень було використано наступні вихідні матеріали:

- портландцемент ПЦ II/Ш-400 (ВАТ «Кривийрігцемент», м. Кривий Ріг);
- кварцовий пісок $M_k=1,5$;
- суперпластифікатор Bevetol-SPL (компанія Isomat);
- латекс Adiplast (компанія Isomat);
- фібру поліпропіленову Fibermesh (компанія Sintetic Industries).

Суміші готували вручну. З метою досягнення рівномірного розподілу компонентів використовували тристадійне перемішування: спочатку поліпропіленову фібру перемішували з сухими компонентами, потім суперпластифікатор та латекс перемішували з водою. На третьому етапі перемішували розчин суперпластифікатора й латексу із сухою сумішшю портландцементу, піску та фібри.

Для одержаних сумішей визначали реологічні характеристики (рухливість) за ГОСТ 5802–86, а затверділого розчину – міцність на розтяг при згині $R_{зг}$ за ГОСТ 310.4.–81. Цементно-піщане співвідношення (Ц : П) для всіх зразків становило 1 : 3.

У *табл. 2 і 3* наведено результати досліджень впливу вмісту латексу та фібри на $R_{зг}$ рівнорухливих цементно-піщаних розчинів (глибина занурення конуса $Z_k=3,0$ см).

Дані *табл. 2 і 3* показують, що найбільший вплив на $R_{зг}$ цементно-піщаного розчину чинить латекс Adiplast, причому із збільшенням його вмісту від 1 до 10% маси сухих компонентів (цементу і піску) міцність на розтяг при згині зростає від 4,64 до 6,68 МПа (без застосування суперпластифікатора) і від 4,71 до 8,10 МПа за наявності суперпластифікатора в композиції. Підвищення міцності відповідно становить 1,13–1,44 і 1,14–1,72 рази. За подальшого зростання вмісту латексу в композиції міцність останньої дещо знижується. Це вказує на те, що існує певний оптимум вмісту латексу в цементно-піщаному розчині, при якому зберігається суцільність цементного гелю в структурі, полімер же заповнює найдрібніші пори і капіляри, а також обволікає цементні зростки і частинки заповнювача. За

2. Вплив вмісту латексу на $R_{зг}$ цементно-піщаного розчину

Вміст латексу, % маси цементу і піску	Міцність на розтяг при згині $R_{зг}$, МПа	
	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором (0,8% маси цементу)
0	4,64	4,71
1	5,22	5,38
3	5,48	6,16
5	6,59	6,65
7	6,64	7,38
10	6,68	8,10
13	6,49	7,79
15	5,37	6,20
20	5,29	6,06

3. Вплив вмісту фібри на $R_{зг}$ цементно-піщаного розчину

Вміст фібри, % (Ц : П)	Міцність на розтяг при згині $R_{зг}$, МПа	
	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором (0,8 % маси цементу)
0	4,64	4,71
0,05	4,73	4,84
0,10	5,65	5,87
0,25	5,68	6,09
0,5	5,26	6,01
1,0	5,14	5,75
1,5	5,09	5,70

подальшого збільшення вмісту латексу частка полімеру в тілі в'язучого стає переважаючою, а цементні новоутворення створюють хаотичні включення, що негативно впливає на міцнісні показники.

При введенні фібри Fibermesh у цементно-піщану суміш у кількості 0,05–0,25% маси цементу і піску міцність затверділого композиту зростає із збільшенням вмісту фібри на 0,1–1,1 МПа і за подальшого підвищення її концентрації практично не змінюється.

Позитивний вплив на міцність як полімерцементного, так і поліпропіленфібробетону чинить суперпластифікатор, що пояснюється нижчим В/Ц для таких сумішей за однакової рухливості, а також більш однорідною структурою затверділих композитів.

Проведені дослідження впливу поліпропіленової фібри на міцність полімерцементного розчину при різних концентраціях латексу та 0,8%-му вмісті суперпластифікатора від маси цементу (табл. 4).

Як видно із даних табл. 4, введення поліпропіленової фібри в полімерцементний розчин, як і добавка фібри в цементно-

4. Вплив поліпропіленової фібри на $R_{зг}$ полімерцементного розчину

Вміст фібри, % маси цементу і піску	Міцність на розтяг при згині $R_{зг}$, МПа		
	Вміст латексу 1% маси цементу і піску	Вміст латексу 5% маси цементу і піску	Вміст латексу 10% маси цементу і піску
0,1	5,15	6,76	7,25
0,2	5,95	7,04	8,33
0,3	6,09	7,65	9,47

піщаний розчин, призводить до збільшення $R_{зг}$ на 1 МПа (10 кгс/см). Міцність же полімерцементного фібробетону в 2,03 раза більша порівняно з традиційним цементно-піщаним розчином.

Дані *табл. 4* свідчать про те, що ефект підвищення міцності цементно-піщаного розчину від сумісного введення латексу та фібри підвищується.

Досліджували реологічні характеристики фіброполімерцементних розчинів залежно від складу. Аналіз результатів досліджень показує, що при введенні латексу в композицію для одержання рівнорухливих сумішей ($Z_k=3,0$ см) необхідно знизувати В/Ц, причому витрати води зменшуються на величину більшу, ніж кількість води, яка вноситься в суміш разом з латексом, що вказує на пластифікуючу дію латексу (*табл. 5*).

Досліджували вплив суперпластифікатора Bevetol-SPL на рухливість цементно-піщаних та полімерцементних розчинів (*табл. 6, 7*). Вміст суперпластифікатора в розчинах становив 0,8% маси цементу.

Як видно із даних *табл. 6* і *7*, пластифікуючий ефект суперпластифікатора Bevetol-SPL проявляється як у цементно-піщаних, так і в полімерцементних розчинах: рухливість композицій зростає.

Дослідження рухливості фіброполімерцементних розчинів показали, що вміст фібри в межах 0,1–0,3% маси цементу і піску практично не впливає на цей показник (*табл. 8*).

Висновок. Для відновлення та реконструкції ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу розроблено новий композиційний матеріал – полімерцементний фібробетон. Одержано функціональні залежності впливу компонентів на міц-

5. Вплив латексу на В/Ц рівнорухливих фіброполімерцементних розчинів

Вміст латексу, % маси цементу і піску	В/Ц	В/Ц з урахуванням води в латексі	Зниження В/Ц, %	
			без урахування води в латексі	з урахуванням води в латексі
-	0,52	-	-	-
1	0,46	0,49	11,5	5,8
3	0,37	0,46	28,8	11,5
5	0,29	0,43	44,2	17,3
7	0,20	0,41	61,5	21,2
10	0,12	0,39	76,9	25,0

Примітка. Вміст суперпластифікатора в композиції 0,8% маси цементу; вміст фібри 0,1–0,3% маси цементу і піску.

6. Вплив суперпластифікатора Bevetol-SPL на рухливість цементно-піщаних розчинів

ВП	Глибина занурення конуса Z_k , см		Збільшення Z_k , рази
	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором	
0,6	2,2	4,6	2,09
0,56	2,0	4,3	2,15
0,52	1,8	3,1	1,72
0,49	1,5	2,2	1,40

7. Вплив суперпластифікатора Bevetol-SPL на рухливість полімерцементних розчинів

В/Ц	Глибина занурення конуса Z_k (см) при вмісті латексу (% маси цементу і піску)					
	0,5		1		3	
	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором	без суперпластифікатора	із суперпластифікатором
0,5	2,4	2,8	3,0	3,6	3,3	4,1
0,45	1,7	2,4	2,1	3,0	3,0	3,7
0,40	1,2	2,1	1,4	1,9	2,8	3,4

8. Вплив фібри на рухливість фіброполімерцементних розчинів

Вміст фібри, % маси цементу і піску	Глибина занурення конуса Z_k , (см) при вмісті латексу (% маси цементу і піску)		
	1 (В/Ц=0,46)	5 (В/Ц=0,30)	10 (В/Ц=0,14)
0,1	3,2	3,3	3,5
0,2	3,1	3,4	3,5
0,3	3,0	3,5	3,5

нісні та реологічні властивості полімерцементного фібробетону. Показано, що міцність композиційного матеріалу підвищується за сумісного введення полімерної добавки та фібри і в 1,1–2,01 рази перевищує міцність традиційного цементно-піщаного розчину. Рухливість фіброполімерцементних розчинів суттєво залежить від вмісту латексу та суперпластифікатора.

Література

1. Дворкин Л.И. Проектирование показателей свойств и составов бетона для конструкций гидромелиоративных систем / Л.И. Дворкин // Шляхи підвищення надійності проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд меліорації. Матеріали VI науково-практичного семінару «Структура, властивості та склад бетону». – К., 2007. – С. 4–25.
2. Позняк О.Р. Конструкційні бетони нової генерації / О.Р. Позняк // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 58–62.
3. Скрипченко В.С. Фибра для бетона, новые методы армирования / В.С. Скрипченко // Бетон и железобетон. – 2010. – № 3. – С. 15–19.
4. Фаликман В.Р. Нанотехнологии и бетон: реальность и перспективы / В.Р. Фаликман // Евробетон. – 2010. – № 3. – С. 6–11.
5. Коваленко О.В., Дехтяр О.О., Литвиненко П.Є. Полімерцементні дрібнозернисті бетони для гідроізоляційних покриттів та ремонту залізобетонних конструкцій / О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, П.Є. Литвиненко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 47–52.
6. Пат. України 56751, МПК С04 В 14/42. Фібробетонна суміш / О.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгіна, О.О. Дехтяр. – 2011. – Бюл. № 2.
7. Пат. України 56754, МПК С04 В 7/00. Полімерцементний розчин / О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна. – 2011. – Бюл. № 2.

Приведены результаты исследований технологических и физико-механических свойств мелкозернистого полимерцементного фибробетона как материала для ремонта и реконструкции железобетонных гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса.

The results of technological and physical-mechanical properties of fine-grained polymer-cement fibre concrete as a material for repairs and reconstruction of reinforced concrete hydraulic structures of water reclamation complex are presented in the article.