

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg20180108-134>

Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/134>

УДК 626.8; 666.96; 691.5; 961.333

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЧАСУ ВИТРИМКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ ФІБРОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

**О.В. Коваленко, канд. техн.наук**

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-2047-8859>; e-mail: [aleksandr55kovakenko@gmail.com](mailto:aleksandr55kovakenko@gmail.com)

***Анотація.** У статті проаналізовано фізико-механічні властивості та можливість застосування нового композиційного матеріалу – самоущільнювального полімерцементного фібробетону в технологіях ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах водогосподарсько-меліоративного комплексу. Досліджено та проаналізовано основні чинники, які впливають на технологічні властивості самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей. Досліджено вплив температури оточуючого середовища та часу витримки до укладання на технологічні характеристики самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей. Установлено, що рухомість та життєздатність таких сумішей суттєво залежать від температури оточуючого середовища та часу витримки до укладання. У залежності від температури оточуючого середовища та часу витримки до укладання рухомість таких сумішей складає 450... 780 мм, життєздатність – 3... 10 годин. У діапазоні температур 5... 35°C полімерцементні фібробетонні суміші зберігають самоущільнювальні властивості протягом 6... 8 год.*

***Ключові слова:** самоущільнювальні полімерцементні фібробетонні суміші, технологічні характеристики, рухомість, життєздатність, розплив конуса.*

**Актуальність теми.** Залізобетонні гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного комплексу (ВМК) в процесі експлуатації піддаються різним агресивним діям зовнішнього середовища: механічним, фізичним, хімічним і біологічним. Механічні дії пов'язані зі статичним тиском води, льоду, наносів та ударними діями при їх русі з великою швидкістю, фізичні – з процесами циклічного заморожування та відтавання, зносу та кавітації, хімічні – з процесами корозії бетону, біологічні – з діяльністю мікроорганізмів, які знаходяться у водному середовищі. Усі ці види дій призводять до руйнування ГТС, зниження їх експлуатаційної надійності та довговічності.

Аналіз сучасного технічного стану ГТС ВМК України показує, що значна їх частина потребує поточного і капітального ремонтів. Основним матеріалом для проведення ремонтно-відновлювальних робіт на ГТС є бетон. До характеристик бетону, який призначений для таких робіт, висуваються підвищені вимоги: висока технологічність, підвищена міцність, морозостійкість, тріщиностійкість, корозійна стійкість, водонепроникність. Особливо актуальною є проблема ремонту конструкцій ГТС у важкодоступних місцях, в умовах високої

концентрації армування конструкцій та віддаленості від місць виготовлення бетонних сумішей. Вирішенням проблеми може бути застосування в технології ремонтно-відновлювальних робіт на ГТС самоущільнювального бетону (СУБ), який отримують модифікацією традиційних бетонних сумішей комплексною органо-мінеральною добавкою (ОМД) [1]. Основними компонентами ОМД є вискоєфективний суперпластифікатор та активний мікронаповнювач (мікрокремнезем, метакаолін) [2]. Застосування ОМД дозволяє отримати бетонну суміш високої рухомості (розплив конуса  $\geq 550$  мм), а бетон на його основі набуває високих фізико-механічних властивостей (міцність на стиск  $\geq 50$  МПа) [3].

**Аналіз попередніх досліджень.** Основоположником СУБ вважається японський професор Х. Окамура, який проводив дослідження в області покращення властивостей бетону шляхом його модифікації різними хімічними добавками. Новий композиційний матеріал отримав назву «самоущільнювальний бетон» (Self Compacting Concrete, SCC) [4, 5]. СУБ було створено завдяки застосуванню в комплексі добавок для бетону полікарбонатів, які винайшов професор Окамура.

Полікарбоксилати належать до гіперпластифікаторів, які набагато ефективніші за суперпластифікатори на основі мелаїнових та нафталінформальдегідних сполук, що застосовувались раніше [6]. Полікарбоксилатні гіперпластифікатори дозволяють значно знизити водо-цементне відношення (В/Ц), а в комплексі з активними мінеральними добавками отримати однорідну бетонну суміш високої рухомості та бетон з високими фізико-механічними властивостями. Винахід СУБ був технологічним проривом в області виробництва і застосування бетону. Гідротехнічне будівництво є одним із пріоритетних напрямків застосування СУБ [7].

З метою підвищення тріщиностійкості бетону, його адгезійної та ударної міцності в ІВПіМ НААН проведено дослідження з подальшої модифікації СУБ полімерними латексами та полімерною фіброю [8]. У результаті було отримано новий композиційний матеріал – самоущільнювальний полімерцементний фібробетон (СПФБ) [9, 10]. Його основні властивості: міцність на стиск 45...65 МПа, міцність на згин 10...11 МПа, адгезійна міцність до бетонної основи – 2,5...3,5 МПа, коефіцієнт тріщиностійкості 0,20...0,22, ударна міцність – 0,30...0,33 МПа. Діаметр розпливу конуса самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей (СПФБС) складає 550...800 мм.

Фундаментальною проблемою розроблення та впровадження у виробництво самоущільнювальних бетонних сумішей є забезпечення їх високої технологічності, що передбачає максимальне уникнення трудомістких операцій укладання і ущільнення і забезпечення необхідних властивостей бетону, зокрема міцнісних. До основних технологічних характеристик бетонних сумішей належить легкоукладальність, яка характеризується рухомістю, та життєздатність (термін придатності), яка визначається часом втрати рухомості до величини, при якій стає неможливим використання бетонної суміші як самоущільнювальної. Згідно з «Європейським посібником з самоущільнювального бетону» [11] діаметр розпливу конуса таких сумішей повинен бути  $\geq 550$  мм.

Після замішування з водою внаслідок протікання процесів гідратації рухомість бетонної суміші змінюється в часі, а залежно від рухомості змінюється її життєздатність. Крім того, на життєздатність бетонної суміші впливає температура навколишнього середовища. Залежно від температури швидкість процесів гідратації та випаровування води з

бетонної суміші можуть змінюватися в широкому діапазоні, що призводить до зміни її життєздатності та легкоукладальності.

**Метою роботи** є дослідження технологічних характеристик СПФБС та впливу на них температури оточуючого середовища та часу витримки до укладання.

**Методика досліджень.** У дослідженнях застосовували: портландцемент ПЦ І-500 виробництва ВАТ «Волинь-цемент», щебінь гранітний фр. 5-10 мм Коростеньського кар'єру, пісок річковий дніпровський з модулем крупності  $M_{кр}=1,86$ , полікарбоксилатний суперпластифікатор марки Adium 150, мікрокремнезем «Elkem Microsilica» з насипною щільністю 280...350 кг/м<sup>3</sup>, полімерний латекс (ПЛ) на основі бутадієн-стирольного сополімеру марки Adiplast з сухим залишком 31,5%. Досліджували бетонні суміші оптимальної рецептури, яка відповідає вимогам по рухомості ( $R_{K} \geq 550$  мм) та по міцності бетону на стиск ( $f_{cm cube} \geq 45$  МПа) [8]. Склад бетонної суміші (кг на 1 м<sup>3</sup>):

портландцемент – 450  
пісок річковий – 940  
щебінь гранітний – 940  
мікрокремнезем – 45  
суперпластифікатор – 7,2  
полімерний латекс (за сухим залишком) – 22,5  
поліпропіленова фібра – 0,9  
вода – 180

Бетонні суміші готували з використанням ручного електроміксера в три етапи: спочатку перемішували сухі компоненти протягом 5 хв., потім готували рідку фазу шляхом перемішування води, СП і ПЛ протягом 5 хв., насамкінець суміш сухих компонентів перемішували з рідкою фазою протягом 5 хв.

Рухомість бетонних сумішей визначали за діаметром розпливу конуса згідно ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Суміші бетонні. Методи випробувань.

**Результати досліджень.** Досліджували вплив температури навколишнього середовища  $t, ^\circ\text{C}$  та часу витримки  $\tau$ , год. (час до укладання бетонної суміші у форму) на  $R_K$  СПФБС. Умови планування експерименту наведені в табл. 1, матриця планування і результати випробувань – в табл. 2.

Як видно з даних табл. залежно від температури оточуючого середовища та часу витримки  $R_K$  бетонних сумішей становить 450...780 мм.

У результаті математичної обробки експериментальних даних отримана експериментально-статистична (ЕС) модель, яка виражає вплив температури оточуючого

## 1. Умови планування експерименту

Фактори	Од. вимір.	Код	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
			-1	0	+1	
Температура навколишнього середовища, t	°С	X1	5	20	35	15
Час витримки, τ	год.	X2	0	3	6	3

## 2. Матриця планування експерименту та результати випробувань

№	Матриця плану в кодах		Матриця плану в натуральних величинах		Розплив конуса РК, мм
	X1	X2	Температура, °С	Час витримки, год.	
1	1	1	35	6	450
2	1	-1	35	0	680
3	-1	1	5	6	675
4	-1	-1	5	0	780
5	1	0	35	3	570
6	-1	0	5	3	700
7	0	1	20	6	540
8	0	-1	20	0	750
9	0	0	20	3	635

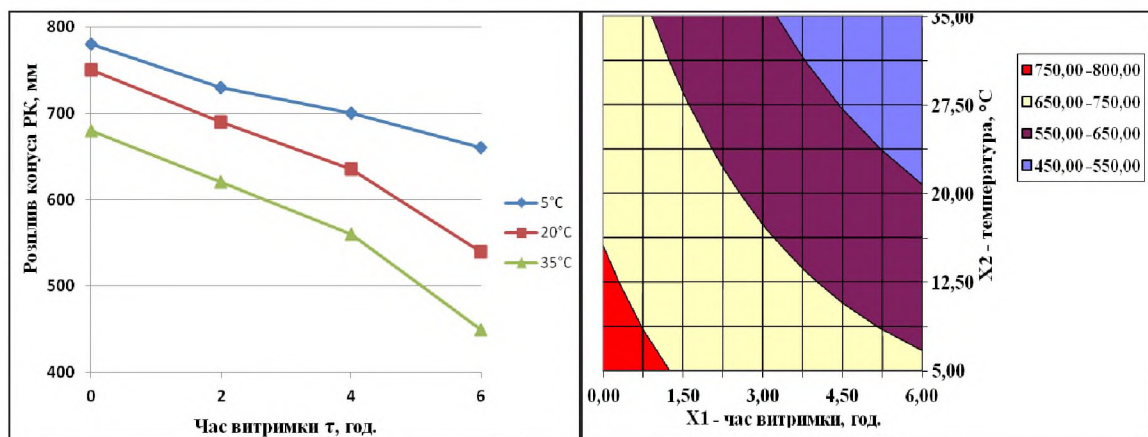
середовища та часу витримки на рухомість СУБС:

$$PK = 659 - 79x_1 - 93x_2 - 6x_1^2 - 11x_2^2 - 30x_1x_2 \quad (1)$$

Аналіз моделі 1 показує, що рухомість бетонних сумішей знижується з підвищенням температури навколишнього середовища та збільшенням часу витримки до укладання

(в моделі 1 коефіцієнт при  $X_1 = -79$ , коефіцієнт при  $X_2 = -93$ ) при переважному впливі часу витримки.

Вплив температури та часу витримки на рухомість СПФБС наведено на рис. 1. Графічне зображення моделі 1 наведено на рис. 1б.



а)

б)

Рис. 1. Вплив часу витримки та температури навколишнього середовища на РК СПФБС

На діаграмі рис.1б присутні чотири зони значень РК, які обмежені значеннями температури навколишнього середовища та часу витримки:

I – 450-550 мм: t=22...35 °С, τ=3,4...6,0 год.

II – 550-650 мм: t=7...35 °С, τ=1,25...6,0 год.

III – 650-750 мм: t=5...35 °С, τ=1,25...6,0 год.

IV – 750-800 мм: t=5...16 °С, τ=0...1,25 год.

За допомогою моделі 1 та діаграми (рис. 1б) можливо визначити допустимий час витримки

бетонної суміші до укладання при певній температурі – це час, при якому РК бетонної суміші  $\geq 550$  мм. Наприклад, при температурі 35 °С допустимий час витримки складає  $\leq 3,3$  год; при температурі 24 °С –  $\leq 5,3$  год.

Досліджували вплив рухомості та температури навколишнього середовища на життєздатність СУБС. Умови планування експерименту наведено в табл. 3, матриця планування та результати випробувань – в табл. 4.

### 3. Умови планування експерименту

Фактори	Од. вимір.	Код	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
			-1	0	+1	
Розплив конуса РК	мм	X1	600	675	750	75
Температура навколишнього середовища t	°С	X2	5	20	35	15

### 4. Матриця планування експерименту та результати випробувань

№ досліджу	Матриця плану в кодах		Матриця плану в натуральних величинах		Життєздатність T, год.
	X1	X2	Розплив конуса РК, мм	Температура °С	
1	1	1	750	35	5,4
2	1	-1	750	5	10,1
3	-1	1	600	35	3,1
4	-1	-1	600	5	5,2
5	1	0	750	20	7,0
6	-1	0	600	20	4,0
7	0	1	675	35	4,2
8	0	-1	675	5	7,1
9	0	0	675	20	6,3

Як видно з даних табл. 4, рухомість та температура оточуючого середовища суттєво впливають на життєздатність СПФБС. Залежно від указаних параметрів життєздатність сумішей змінюється від 3,1 до 10,1 години.

Отримана ЕС-модель, яка виражає вплив рухомості та температури навколишнього середовища на життєздатність СПФБС:

$$T_i = 5,77 + 1,7x_1 - 1,6x_2 - 0,02x_1^2 + 0,08x_2^2 - 0,65x_1x_2 \quad (2)$$

Вплив рухомості та температури навколишнього середовища на життєздатність СПФБС наведено на рис. 2. Графічне зображення моделі 2 наведено на рис. 2б.

Аналіз моделі 2 показує, що життєздатність СПФБС зростає з підвищенням рухомості та знижується з підвищенням температури навколишнього середовища (в моделі 2 коефіцієнт при  $X_1 = +1,7$ , коефіцієнт при  $X_2 = -1,6$ ).

На діаграмі рис.2б присутні чотири зони значення життєздатності бетонних сумішей (год.), які обмежені такими значеннями рухомості та температури:

2,0-4,0 год. – РК=600...656, t=21...35 °С  
 4,0-6,0 год. – РК=600...750, t=5...35 °С  
 6,0-8,0 год. – РК=628...750 мм, t=5...35 °С  
 8,0-10,0 год. – РК=694...750, t=5...16 °С

За допомогою моделі 2 та діаграми рис. 2 можливо визначити життєздатність СПФБС певної рухомості при певній температурі. У діапазоні температур 5...35 °С та часу витримки 6...8 год. РК  $\geq 550$  мм, тобто суміш зберігає самоущільнювальні властивості.

**Висновки.** Отримано експериментальні-статистичні моделі, які виражають вплив температури навколишнього середовища та часу витримки до укладання на рухомість СПФБС та вплив температури навколишнього середовища і рухомості на їх життєздатність.

Встановлено, що залежно від температури навколишнього середовища та часу витримки до укладання розплив конуса СПФБС становить 450...780 мм. З підвищенням температури та збільшенням часу витримки розплив конуса зменшується. Залежно від рухомості та температури навколишнього середовища життєздатність СПФБС змінюється від 3,1 до 10,1 годин.

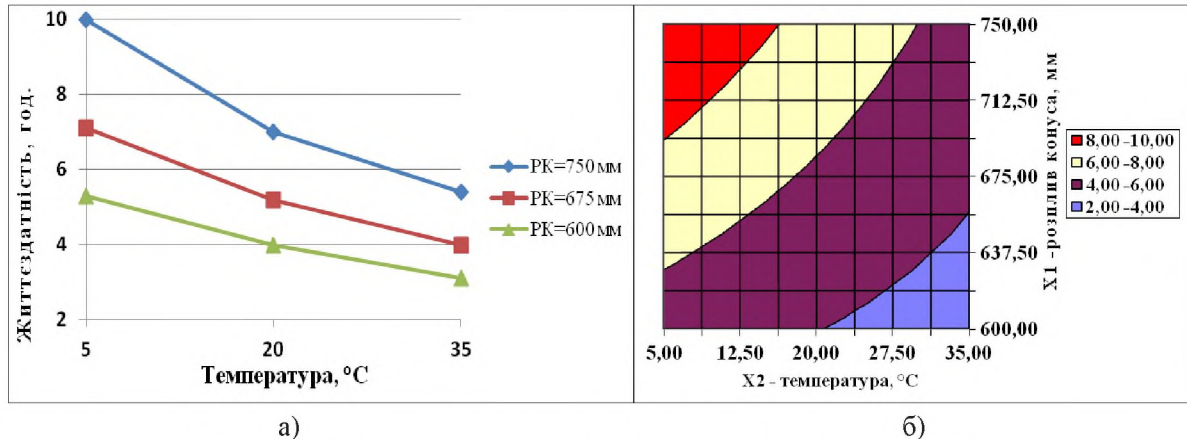


Рис. 2. Вплив рухомості та температури навколишнього середовища на життєздатність СПФБС

Життєздатність збільшується з підвищенням рухомості сумішей та зменшується з підвищенням температури середовища.

У діапазоні температур 5...35 °C СПФБС протягом 6...8 год. зберігає самоущільнювальні властивості.

#### Бібліографія

1. Сучасні бетони на основі комплексних модифікаторів нової генерації. Саницький М.А. та ін. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2011. Вип. 29. С. 98–102.
2. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии «МБ» на их эффективность Каприелов С.С. та ін. // Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 11-15.
3. Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2009. Вып. 8. №16. С. 29-35.
4. Okamura H., Ozawa K. Mix design for self-compacting concrete // Conc. Lib. of Japan Soc. of Civ. Eng. 1995. № 6. Pp. 107-120.
5. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Advanced Concrete Technology. 2003. № 1. Pp. 5-15.
6. Цветкова Ю.В., Сорокина И.П. Оценка суперпластификаторов для самоуплотняющегося бетона // Международная научно-практическая конференция «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы». Уфа, 25 декабря 2015 г. С. 124-126.
7. Фаликман В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2011. № 1. С. 48-54.
8. Коваленко О.В., Юзюк О.Ю. Нові склади самоущільнювальних полімерцементних фібробетонних сумішей // Меліорація і водне господарство. 2017. № 106. С. 94-102.
9. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 121910 Україна. № u 2017 04850; заявл. 19.05.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.
10. Самоущільнювальна фібробетонна суміш: пат. 124130 Україна № u ; 2017 09466; заявл. 27.09.2017; опубл. 26.03. 2018, Бюл. № 6.
11. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.

#### References

1. Sanytskyu, M.A., Poznyak, O.R., Kirakevych, I.I., & Topylko, N.I. (2011). Suchasni betony na osnovi kompleksnykh modyfikatoriv novoi heneratsii [Modern concrete on the basis of complex modifiers of the new generation]. Budivelni materialy, vyrobny ta sanitarna tekhnika, 29, 98-102.
2. Kapriyelov, S.S., Karpenko, N.I., Sheinfeld, A.V., & Kuznetsov, E.N. (2003) Vlyaniye orhanomyneralnoho modyfykatora MB-50S na strukturu y deformatyvnyost tsementnoho kamnia y vysokoprochnoho betona [Influence of organomineral modifier MB-50C on the structure and deformability of cement stone and high-strength concrete]. Beton y zhelezobeton, 3, 2-7.
3. Gamalii, E.A, Trofimov, B.Ya., & Kramar, L.Ya. (2009). Struktura y svoistva tsementnoho kamnia s dobavkamy mykrokremnezema y polykarboksylatnoho plastyfykatora [Structure and properties

of cement stone with additives of micro-silica and polycarboxylate plasticizer]. Vestnyk YuUrHU. Seriya «Stroytelstvo y arkhitektura», 16, 29-35.

4. Okamura, H., & Ozawa, K. (1995). Mix design for self-compacting concrete. Conc. Lib. of Japan Soc. of Civ. Eng., 6, 107-120.

5. Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. Advanced Concrete Technology. 1, 5-15.

6. Tsvetkova, Yu.V., & Sorokyna, Y.P. (2015). Otsenka superplastyfykatorov dlia samouplotniaiushchehosia betona [Evaluation of superplasticizers for self-compacting concrete]. Mezhdunarodnaia nauchno-praktycheskaia konferentsiya «Tradytsonnaia y ynovatsyonnaia nauka: ystoryia, sovremennoe sostoianye, perspektyvy». Ufa, 25 dekabria 2015 h. 124-126.

7. Falykman, V.R. (2011). Novye efektyvnye vysokofunktsyonalnye betony [New effective high-performance concretes]. Beton y zhelezobeton. Oborudovanye. Materyaly. Tekhnolohyy, 1, 48-54.

8. Kovalenko, O.V., Yuziuk, O.Iu. (2017). Novi sklady samoushchilniuvalnykh polimertsementnykh fibrobetonnykh sumishei [New compositions of self-compacting polymer-cement fibrobetonnykh mixtures]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 106, 94–102.

9. Kovalenko, O.V., Yuziuk, O.Iu. (2017). Samoushchilniuvalna fibrobetonna sumish [Self-compacting fibrous concrete mixture]. Patent of Ukraine. № 121910.

10. Kovalenko, O.V. (2018). Samoushchilniuvalna fibrobetonna sumish [Self-compacting fibrous concrete mixture]. Patent of Ukraine. № 124130.

11. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.

**А.В. Коваленко**

#### **Влияние температуры окружающей среды и времени выдержки на технологические характеристики самоуплотняющихся полимерцементных фибробетонных смесей**

*Аннотация.* В статье проанализированы физико-механические свойства и возможности применения нового композиционного материала – самоуплотняющегося полимерцементного фибробетона в технологиях ремонтно-восстановительных работ на гидротехнических сооружениях водохозяйственно-мелиоративного комплекса. Исследованы и проанализированы основные факторы, которые влияют на технологические свойства самоуплотняющихся полимерцементных фибробетонных смесей. Исследовано влияние температуры окружающей среды и времени выдержки до укладки на технологические характеристики самоуплотняющихся полимерцементных фибробетонных смесей. Установлено, что подвижность и жизнеспособность таких смесей существенно зависят от температуры окружающей среды и времени выдержки до укладки. В зависимости от температуры окружающей среды и времени выдержки до укладки подвижность таких смесей составляет 450...780 мм, жизнеспособность – 3...10 ч. В диапазоне температур 5...35 °С полимерцементные фибробетонные смеси сохраняют самоуплотняющиеся свойства в течение 6...8 ч.

*Ключевые слова:* самоуплотняющиеся полимерцементные фибробетонные смеси, технологические характеристики, подвижность, жизнеспособность, расплыв конуса.

**O.V. Kovalenko**

#### **Effect of the ambient temperature and holding period on the processing characteristics of self-adjustable polymercement fibro concrete mixtures**

*Abstract.* The article analyzes the physico-mechanical properties and the possibility of using a new composite material – self-compacting polymer-cement fiber-reinforced concrete in the repair and restoration technologies at the hydraulic structures of the water-reclamation complex. The main factors that influence the technological properties of self-compacting polymer-cement fiber-concrete mixtures are investigated and analyzed. The influence of the ambient temperature and the exposure time before laying on the technological characteristics of self-compacting polymer-cement fiber-concrete mixtures is investigated. It was established that the mobility and viability of such mixtures significantly depend on the ambient temperature and the exposure time before laying. Depending on the ambient temperature and the exposure time before laying, the mobility of such mixtures is 450...780 mm, the viability is 3...10 hours. In the temperature range of 5...35°C, polymer-cement fiber-reinforced concrete mixtures retain self-absorbing properties for 6...8 hours

*Key words:* self-compacting polymer-cement fibrous concrete mixtures, technological characteristics, mobility, viability, cone expansion.