

## **САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЙ ФИБРОБЕТОН ДЛЯ РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА**

**А.В. Коваленко,**

**А.Ю. Юзюк**

*Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины  
г. Киев, Украина*

### **Аннотация**

Значительная часть железобетонных гидротехнических сооружений водохозяйственного мелиоративного комплекса в процессе эксплуатации под воздействием окружающей среды получила различного рода повреждения и требует проведения ремонтно-восстановительных работ методом монолитного бетонирования. Эффективность таких работ во многом определяется качеством бетона, его технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Одним из перспективных материалов для ремонтно-восстановительных работ является бетон на основе высокоподвижных самоуплотняющихся смесей. Модификация таких смесей полимерным латексом и полипропиленовой фиброй позволяет создать самоуплотняющийся полимерцементный фибробетон для эффективного ремонта и реконструкции железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, ремонт, реконструкция, самоуплотняющийся бетон, органо-минеральная добавка, суперпластификатор, микрокремнезем, полимерный латекс, полипропиленовая фибра

### **Abstract**

**V.A. Kovalenko, A.Ju. Juzjuk**

### **SELF-SEALING POLYMER-CEMENT FIBER-CONCRETE FOR REPAIR AND RECONSTRUCTION OF HYDRAULIC UNITS OF WATER MANAGEMENT AND RECLAMATION COMPLEX**

A significant part of the reinforced concrete hydro technical structures of the water management and reclamation complex in the process of exploitation, under the influence of the environment get various kinds of damage what requires the carrying out of repair and restoration works by the method of monolithic concreting. The effectiveness of such works is based on the quality of concrete, its technological, physical-mechanical and operating properties. One of the most promising materials for repair and restoration works is concrete based on high-mobility self-compacting mixtures. Modification of such mixtures by polymer latex and polypropylene fiber makes it possible to create self-sealing polymer-cement fiber-reinforced concrete for efficient repair and reconstruction of reinforced concrete structures of hydraulic structures.

**Keywords:** hydraulic engineering structures, repair, reconstruction, self-sealing concrete, organo-mineral additive, super plasticizer, micro silica, polymer latex, polypropylene fiber

### **Введение**

Гидротехнические сооружения (ГТС) водохозяйственно-мелиоративного назначения, которые в основном выполнены из железобетона, эксплуатируются в условиях многофакторной агрессивности окружающей среды. Температурно-влажностные изменения, колебание уровня и высокая минерализация грунтовых вод, коррозионная активность грунтов, просадки и пучения оснований, явления кавитации, износа, замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания в том или ином сочетании постоянно действуют на сооружения, постепенно разрушая их. Это приводит к снижению эксплуатационной надежности и долговечности сооружений, нерациональному использованию воды и ухудшению экологического состояния прилегающих территорий [1]. В связи с этим

актуальным является вопрос их ремонта и реконструкции.

В процессе проведения ремонта и реконструкции ГТС часто существует необходимость проведения работ методом монолитного бетонирования. Качество бетона, его технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства во многом определяют эффективность проведения ремонтно-восстановительных работ. Поскольку монолитное бетонирование в процессе ремонта ГТС часто приходится проводить в условиях сложной конфигурации конструкций, насыщенности арматурой и в зонах ограниченного доступа, актуальным является вопрос использования для этих целей высокотехнологических, высокофункциональных бетонов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойст-

вами [2]. К таким бетонам относятся самоуплотняющиеся бетоны (СУБ), получаемые модификацией бетонных смесей органо-минеральными добавками, в состав которых входят поликарбоксилатные суперпластификаторы и активные минеральные наполнители (микрокремнезем, метакаолин) [3, 4]. Оптимальное сочетание этих добавок-модификаторов позволяет получать бетонные смеси высокой подвижности, способные самоуплотняться без энергии вибрации и образовывать бетон с высокими физико-механическими характеристиками [5].

Современные исследования в области создания СУБ направлены на модификацию бетонных смесей путем совмещения органо-минеральных добавок с другими органическими и минеральными материалами. Такая модификация позволяет управлять реологическими свойствами бетонных смесей и модифицировать структуру цементного камня на микроуровне так, чтобы придать бетону свойства, обеспечивающие эксплуатационную надежность и долговечность сооружений [6].

Одним из перспективных направлений исследований в этой области, на наш взгляд, может быть применение в качестве модификаторов полимерных латексов и полипропиленовой фибры и создание на этой основе нового композиционного материала для ремонта и реконструкции ГТС – полимерцементного самоуплотняющегося фибробетона [7, 8]. Полимерная модификация и фиброармирование направлены на увеличение прочности бетона на изгиб и растяжение, повышение его морозостойкости, износостойкости и ударпрочности, снижение водопоглощения и образования усадочных микротрещин, которые со временем имеют тенденцию перерастать в макротрещины.

Целью настоящего исследования является разработка рецептуры и определение свойств СУБ, полученного путем модификации бетонных смесей поликарбоксилатным суперпластификатором, минеральным наполнителем микрокремнеземом, бутадиен-стирольным латексом и полипропиленовой фиброй, а также оценка возможности применения нового композиционного материала – самоуплотняющегося полимерцементного фибробетона для ремонта и реконструкции железобетонных гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного назначения.

**Методика исследований.** В процессе исследований определяли характеристики бетонных смесей и бетонов в соответствии с существующими нормативными документами:

- подвижность – по диаметру расплыва конуса согласно ДСТУ Б В.2.7-114:2002 Суміші бетонні. Методи випробувань (аналогичный EN 12350-2 Testing fresh concrete - Part 2: Slump-test, ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний);

- прочность на сжатие и прочность на изгиб – на образцах-кубах с ребром 70,7 мм и на образцах - балочках размером 40x40x160 мм согласно ДСТУ Б В.2.7-224:2009 «Будівельні матеріали. Бетон. Правила контролю міцності» (аналогичный EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests, ГОСТ 12730.3-84 Бетоны. Методы испытаний);

- ударную прочность – на образцах-цилиндрах диаметром 25 мм и высотой 25 мм на лабораторном копре Педжа. Метод основан на определении работы, затраченной на разрушение образца, отнесенной к площади, через которую передается нагрузка бойка-гири массой 2 кг;

- адгезионную прочность – на образцах - восьмерках с поперечным сечением средней части – 22,5x22,5 мм, длиной средней части 10 мм, общей длиной образца 78 мм. Испытания проводили на разрывной машине РМ-05, оборудованной специальными захватами;

- водопоглощение – согласно ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності (аналогичный ГОСТ 12730.3-84 Бетоны. Метод определения водопоглощения).

В исследованиях применяли материалы: портландцемент ПЦ I-500 производства ОАО «Вольный-цемент», щебень гранитный фракции 5-10 Коростеньского карьера, песок речной Днепровский с модулем крупности  $M_{кр} = 1,49$ , микрокремнезем (МК) Elkem Microsilica, суперпластификатор (СП) на основе эфиров поликарбоксилата Adium 150, полимерный латекс (ПЛ) Adiplast с сухим остатком 35 %, полипропиленовую фибру (ПФ) Isomat длиной 12 мм и диаметром 20–40 мкм. Бетонные смеси готовили с использованием ручного электромиксера в три этапа: сначала перемешивали сухие компоненты в течение

5 мин., потом готовили жидкую фазу путем перемешивания суперпластификатора и латекса с водой. На конечном этапе смесь сухих компонентов перемешивали с жидкой фазой в течение 5 мин. Расход компонентов для всех образцов составлял (кг/м<sup>3</sup>): цемента – 450, песка – 940, щебня – 940, микрокремнезема – 45, воды –171. Содержание латекса в бетонной смеси варьировали от 0 до 6 % от массы цемента (по сухому остатку), полипропиленовой фибры – от 0 до 0,3 % от массы цемента.

Исследовали влияние полимерного латекса Adiplast и полипропиленовой фибры Isomat на расплыв конуса бетонных смесей РК и на физико-механические свойства бетона: прочность на сжатие  $f_{cm.cube}$ , прочность на изгиб  $f_{ctd}$ , ударную прочность  $f_{imp}$ , коэффициент трещиностойкости  $K_{тр}$  и водопоглощение  $W$ .

Исследования проводили с применением метода математического планирования эксперимента (ПФЭ- 2F). Условия планирования эксперимента приведены в таблице 1.

**Изложение основного материала.** Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний приведены в таблице 2.

В результате реализации плана эксперимента получены экспериментально-статистические модели, которые выражают влияние полимерного латекса и полипропиленовой фибры на подвижность бетонных смесей и на физико-механические свойства бетона:

$$PK=720 - 25x_1 - 100x_2 - 63x_1^2 - 34x_2^2, \quad (1)$$

$$f_{cm.cube}=51,9-6,1x_1 - 0,8x_2 + 2,3 x_1^2 + 1,8x_2^2 + 1,1 x_1x_2, \quad (2)$$

$$f_{ctd}=9,88 + 0,45x_1 + 0,22x_2 + 0,08x_1^2 - 0,02x_2^2 + 0,15x_1x_2, \quad (3)$$

$$f_{imp}=0,28 + 0,05x_1 + 0,03x_2 - 0,05x_1^2 + 0,01x_2^2, \quad (4)$$

$$K_{mp}=0,19 + 0,03x_1 + 0,01x_2 - 0,003x_1^2 + 0,003x_2^2 + 0,003 x_1x_2, \quad (5)$$

$$W=3,80 - 0,80x_1 + 0,08x_2 - 0,02x_1^2 + 0,03x_2^2 - 0,15 x_1x_2. \quad (6)$$

Графическое изображение моделей 1–6 приведено на рис. 1–3.

Данные, приведенные в таблице 2, говорят о подвижности бетонных смесей и физико-механических свойствах бетонов, колеблющихся в

Таблица 1. – Условия планирования эксперимента

ФАКТОРЫ РЕЦЕПТУРЫ	Уровни варьирования			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
$X_1$ – содержание полимерного латекса (ПЛ), % от массы цемента	0	3,0	6,0	3,0
$X_2$ – содержание полипропиленовой фибры (ПФ), % от массы цемента	0	0,15	0,3	0,15

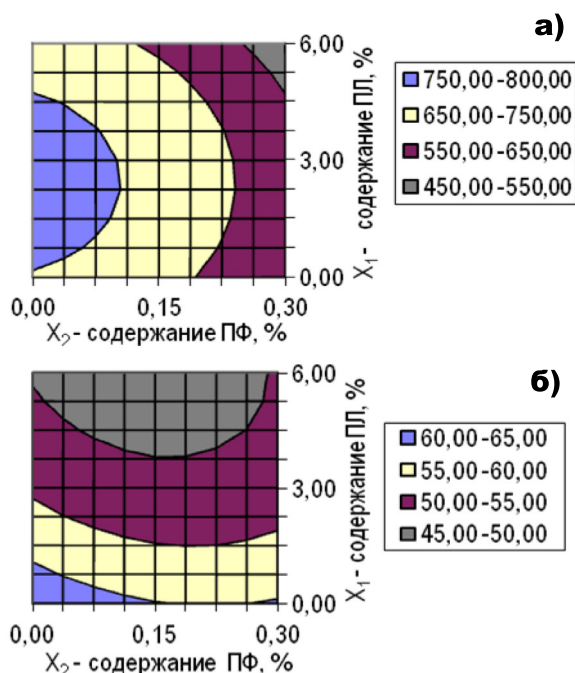
Таблица 2. – Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний

№ опыта	Матрица плана в кодах		Матрица плана в натуральных величинах		Расплыв конуса РК, мм	Прочность на сжатие $f_{cm.cube}$ , МПа	Прочность на изгиб $f_{ctd}$ , МПа	Ударная прочность $f_{imp}$ , МПа	Коэффициент трещиностойкости, $K_{тр}$	Водопоглощение $W$ , %
	$X_1$	$X_2$	ПЛ	ПФ						
1	1	1	6	0,3	498	50,3	10,8	0,30	0,22	2,9
2	1	-1	6	0	687	48,7	10,0	0,22	0,20	3,0
3	-1	1	0	0,3	558	61,1	9,6	0,19	0,16	4,9
4	-1	-1	0	0	742	63,8	9,4	0,14	0,15	4,4
5	1	0	6	0,15	643	48,9	10,4	0,28	0,21	3,1
6	-1	0	0	0,15	675	59,7	9,5	0,17	0,16	4,5
7	0	1	3	0,3	575	52,0	10,0	0,27	0,20	3,9
8	0	-1	3	0	800	55,5	9,7	0,24	0,17	3,8
9	0	0	3	0,15	715	51,8	9,9	0,33	0,19	3,8

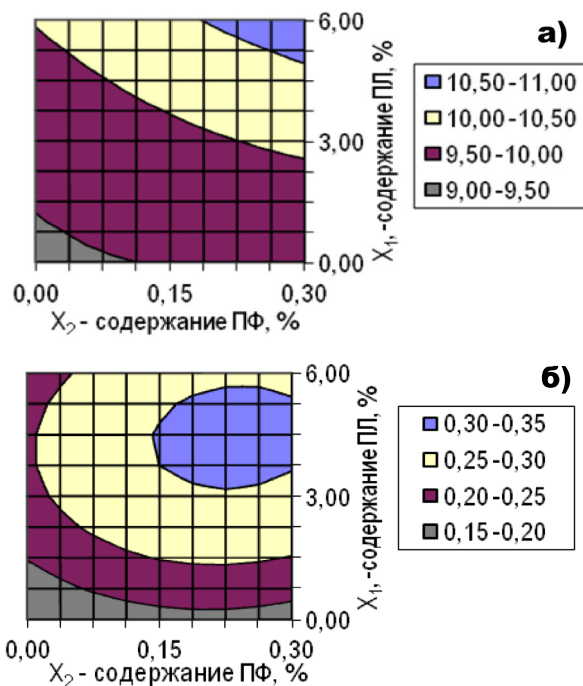
зависимости от содержания полимерного латекса и полипропиленовой фибры в широком диапазоне: расплыв конуса – от 498 до 800 мм, прочность на сжатие – от 48,7 до 63,8 МПа, прочность на изгиб – от 9,5 до 10,8 МПа, ударная прочность от 0,14 до 0,33 МПа, коэффициент трещиностойкости – от 0,15 до 0,22, водопоглощение – от 2,9 до 4,9 %.

Анализ моделей 1-6 и диаграмм, представленных на рисунках 1–3, показывает, что полимерный латекс и полипропиленовая фибра положительно влияют на прочность на изгиб, ударную прочность и коэффициент трещиностойкости бетона. Их влияние на подвижность бетонных смесей и прочность бетона на сжатие отрицательно. Введение в бетонную смесь полимерного латекса и полипропиленовой фибры в количестве 3...6 % и 0,15...0,3 % от массы цемента соответственно позволяет увеличить прочность на изгиб бетона в 1,06...1,15, ударную прочность – в 1,93...2,36, трещиностойкость – в 1,27...1,38 раза. Прочность на сжатие бетона при этом снижается в 1,23...1,31 раза.

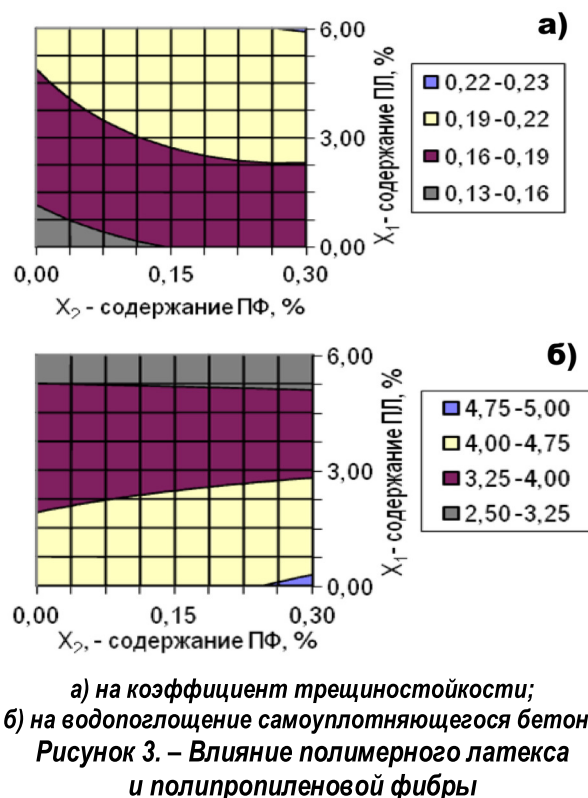
Полимерный латекс позволяет снизить водопоглощение бетона в 1,69 раз. Полипропиленовая фибра незначительно увеличивает этот параметр. Полимерный латекс в количестве до 3 % от массы цемента повышает расплыв конуса бетонной смеси от 742 до



а) на подвижность бетонных смесей; б) на прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона  
Рисунок 1. – Влияние полимерного латекса и полипропиленовой фибры



а) на прочность на изгиб; б) на ударную прочность самоуплотняющегося бетона  
Рисунок 2. – Влияние полимерного латекса и полипропиленовой фибры



а) на коэффициент трещиностойкости; б) на водопоглощение самоуплотняющегося бетона  
Рисунок 3. – Влияние полимерного латекса и полипропиленовой фибры

800 мм, однако с увеличением его содержания от 3 до 6 % расплыв конуса уменьшается до 687 мм. Введение в бетонную смесь полипропиленовой фибры приводит к уменьшению ее подвижности в 1,33...1,39 раз.



Анализ диаграммы, представленной на рисунке 1а, показывает, что бетонные смеси при содержании полимерного латекса до 4,5...6,0 % и полипропиленовой фибры до 0,26...0,3 % от массы цемента отвечают требованию, предъявляемому к самоуплотняющимся смесям по подвижности. Согласно Европейскому руководству по самоуплотняющемуся бетону [9], расплыв конуса таких смесей должен составлять  $\geq 550$  мм. Из диаграммы, представленной на рисунке 1б, видно, что вся область рецептур бетонных смесей отвечает требованию, предъявляемому к ремонтным цементным бетонам класса R4. Согласно DIN EN 1504 [10], прочность при сжатии таких бетонов должна составлять  $\geq 45$  МПа.

Расчеты показывают, что введение в бетонную смесь поликарбоксилатного суперпластификатора, микрокремнезема, полимерного латекса и полипропиленовой фибры приводит к увеличению ее стоимости в 1,6...1,9 раз за счет дороговизны модифицирующих добавок. Это указывает на то, что самоуплотняющийся полимерцементный фибробетон необходимо использовать не повсеместно, а лишь в случаях, где необходимо провести ремонтно-восстановительные работы высокого качества в сложных условиях, на труднодоступных участках с

высокой концентрацией арматуры и в кратчайшие сроки. Высокие показатели подвижности, прочности на сжатие и на изгиб в сочетании с высокой ударной прочностью, трещиностойкостью и низким водопоглощением определяют перспективу эффективного использования этого композита как материала для ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного назначения.

#### **Выводы**

Разработан новый композиционный материал – самоуплотняющийся полимерцементный фибробетон для ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса. Исследовано влияние полимерного латекса и полипропиленовой фибры на свойства самоуплотняющегося бетона. Установлено, что модификацией бетонной смеси полимерным латексом и полипропиленовой фиброй можно получить самоуплотняющийся полимерцементный фибробетон со следующими характеристиками: подвижность по расплыву конуса – 550...800 мм, прочность на сжатие – 48...64 МПа, прочность на изгиб 10...11 МПа, ударная прочность – 0,27...0,33 МПа, коэффициент трещиностойкости – 0,19...0,22, водопоглощение – 2,9...3,8 %.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Коваленко, О.В. Технічний стан залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд меліоративних систем та методи його діагностики // О.В. Коваленко, Ю.А. Вітковський, К.О. Диль / Будівельні матеріали, виробы, і санітарна техніка. – 2009. – №34. – С.21-25.
2. Фаликман, В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // В.Р. Фаликман / Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. – 2011. – №1. – С.48-54.
3. Okamura, H. Self-Compacting Concrete // H. Okamura, M. Ouchi / Advanced Concrete Technology. – 2003. – №1. – P. 5-15.
4. Каприелов, С.С. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций // С.С. Каприелов, И.А. Чилин / Строительные материалы. – 2007. – №18. – С.10.
5. Каприелов, С.С. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии «МБ» на их эффективность // С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд / Бетон и железобетон. – 2001. – №5. – С. 11-15.
6. Модифицированные бетоны в практике современного строительства // В.Г. Батраков [и др.] / Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – №9. – С.23-25.
7. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 121910 Україна. № u 201704850. – Опубл. 26.12.2017.
8. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 124130 Україна. № u 201709466. – Опубл. 26.03.2018.
9. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. – UK, 2005. – 21 p.
10. DIN EN 1504-5-2013. Изделия и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определение, требования, контроль качества и оценка соответствия / Каталог DIN. Национальные стандарты Германии. – 2013. – 42 с.

*Поступила 17.08.2018*