

ко; заявитель Белорусский научн. иссл. ин-т мелиорации и водн. хозяйства - № 4048597/23-26 заявл.03.04.1986, опубл.07.09.1990.

5. Лизиметр: а.с.1572462 Респ.Беларусь, МПК А 01 G 01 25/02 / К.А. Глушко; заявитель Брестск. инж. строит.ин-т - № 44685847/31-15 заявл.01.08.1988, опубл.23.06.1990.

6. Лизиметр-испаритель: пат.10810 Респ.Беларусь, МПК E 02B 11/00, G 01 F 23/22 / К.А. Глушко, А.А. Вол-

чек, М.Ф. Мороз; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т - №20150078 заявл.03.05.2015, опубл.30.10.2015.

7. Глушко, К.А. Исследование инфильтрации талых вод при переменном уровне грунтовых вод и процессов формирования поверхностного стока на осушенных торфяниках //Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сб. науч. статей Международной научно-практической конференции. – Брест, 2016. - Ч 1. – С. 139–148.

*Материал поступил в редакцию 21.02.17*

#### **GLUSHKO K.A. Study of the infiltration of melt water at a constant ground water level on drained peatlands**

The results of field research intensity of infiltration of meltwater on drained peatlands at a constant level of groundwater. The basic laws of its change of vernal and internal factors. Established the absolute values of the intensity of infiltration at a different level of groundwater.

УДК 626.8:631.6:691.175:699.8

**А.В. Коваленко, А.Ю. Юзюк**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА ДЛЯ РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Введение.** Железобетонные гидротехнические сооружения (ГТС) водохозяйственно-мелиоративного комплекса (ВМК) в процессе длительной эксплуатации под воздействием агрессивных факторов внешней среды подверглись разного рода разрушениям (каверны, сколы, трещины, разгерметизация швов, значительная фильтрация и т.п.) и требуют неотложного проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Ремонт и реконструкция ГТС ВМК — одна из актуальных проблем последних лет.

Ремонт ГТС и их конструктивных элементов требуют применения эффективных технологий с использованием материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Одним из перспективных материалов для этих целей являются литые самоуплотняющиеся бетонные смеси, позволяющие эффективно проводить ремонт конструкций, насыщенных арматурой, сложной конфигурации и в зонах ограниченного доступа (водосливы, тоннели, водоводы, облицовки каналов и др.).

Опыт строительства и эксплуатации ГТС с применением традиционных литых высокоподвижных бетонов показал ряд недостатков этой технологии, которые связаны с недостаточно высокими показателями прочности, морозостойкости, адгезионной прочности, водонепроницаемости и трещиностойкости бетона. Вместе с тем, успехи в создании современных высококачественных, высокотехнологических, высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete, НРС) с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами открывают новые перспективы

применения этого материала в строительстве [1, 2]. К таким бетонам относятся самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) (Self Compacting Concrete, SCC), которые получают модификацией бетонных смесей органо-минеральными добавками, в состав которых входят суперпластификаторы последнего поколения и активные минеральные наполнители (микрокремнезем, метакраолин) [3–5]. Оптимальное сочетание этих добавок-модификаторов, а при необходимости, совмещение с ними других органических и минеральных материалов 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].

СУБ имеют положительный опыт применения при строительстве комплексов крупных гидротехнических сооружений в Голландии и самых разных сооружений в других странах — сводов и арок в тоннелях, метрополитенов, автострэд, мостов, атомных электростанций [2]. Это позволяет прогнозировать их эффективное применение при ремонте и реконструкции ГТС.

Целью настоящего исследования является подбор состава СУБ для ремонта железобетонных конструкций ГТС и его оптимизация по величине водоцементного отношения (В/Ц) и содержанию поликарбоксилатного суперпластификатора (СП) для обеспечения требуемых показателей подвижности бетонной смеси, содержащей минеральный наполнитель микрокремнезем в количестве 10% от массы цемента и предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте.

*Коваленко Александр Васильевич, к.т.н., с.н.с., зав. отделом, Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины.*

*Юзюк Александр Юрьевич, аспирант, Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины.*

*Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 37.*

**Входные данные и методы.** В исследованиях применяли материалы: портландцемент ПЦ I-500 производства ОАО «Волынь-цемент», щебень гранитный фракции 3–10 Коростеньского карьера, песок речной Днепровский с модулем крупности  $M_{кр} = 1,49$ , микрокремнезем (МК) марки Elkem Microsilica, СП на основе эфиров поликарбоксилата марки Adium 150. Бетонные смеси готовили с использованием ручного электромиксера в три этапа: сначала перемешивали сухие компоненты в течение 5 мин., потом готовили жидкую фазу путем перемешивания воды и СП. На конечном этапе смесь сухих компонентов перемешивали с жидкой фазой в течение 5 мин. Расход цемента для всех образцов составлял 450 кг/м<sup>3</sup>, песка — 635 кг/м<sup>3</sup>, щебня — 1050 кг/м<sup>3</sup>, микрокремнезема — 45 кг/м<sup>3</sup>. Подвижность бетонных смесей определяли по диаметру расплыва конуса согласно «ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Суміші бетонні. Методи випробувань». Проч-

ностные показатели бетона определяли согласно «ДСТУ БВ.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками». Образцы-балочки размером 4×4×16 см и кубы размером 7,07×7,07×7,07 см выдерживали в нормально-влажностных условиях в течение 28 суток. Дозировку добавок рассчитывали по отношению к массе цемента. Исследования проводили с применением метода математического планирования эксперимента (ПФЭ-2F).

**Результаты. Обсуждение и анализ.** Условия планирования эксперимента, матрица планирования и результаты испытаний наведены соответственно в табл. 1 и табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, в зависимости от величины В/Ц и содержания СП подвижность бетонных смесей ( $D_{p.к.}$ ) изменяется от 420 до 780 мм, прочность при сжатии бетона ( $f_{cm}$ ) – от 31,7 до 58,2 МПа, прочность при изгибе ( $f_{ctd}$ ) от 6,8 до 10,7 МПа.

**Таблица 1.** Условия планирования эксперимента

Факторы рецептуры	Уровни варьирования			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
$X_1$ , водоцементное отношение, (В/Ц)	0,35	0,40	0,45	0,05
$X_2$ , содержание СП, (% от массы цемента)	1,00	1,25	1,5	0,25

**Таблица 2.** Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний

№ опыта	$X_1$	$X_2$	Диаметр расплыва конуса $D_{p.к.}$ , мм	Прочность при сжатии $f_{cm}$ , МПа	Прочность при изгибе $f_{ctd}$ МПа
1	+	+	780	31,7	6,8
2	+	-	720	40,0	8,6
3	-	+	580	56,7	9,5
4	-	-	420	58,2	10,7
5	+	0	760	35,7	7,3
6	-	0	560	57,6	9,6
7	0	+	770	42,4	7,5
8	0	-	560	54,0	9,7
9	0	0	725	48,2	8,4

В результате реализации плана эксперимента получены экспериментально-статистические модели, которые выражают зависимость подвижности бетонной смеси (расплыв конуса) и прочностных характеристик бетона от действующих факторов ( $X_1, X_2$ ):

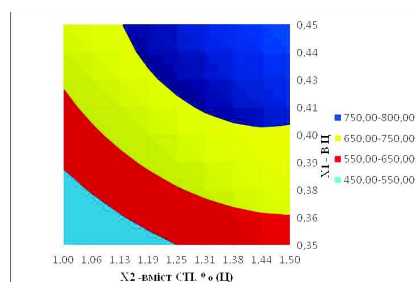
$$D_{p.к.} = 716 + 117x_1 + 72x_2 - 49x_1^2 - 44x_2^2 - 25x_1, \quad (1)$$

$$f_{cm} = 48,85 - 10,85x_1 - 3,60x_2 - 1,94x_1^2 - 1,7x_1x_2, \quad (2)$$

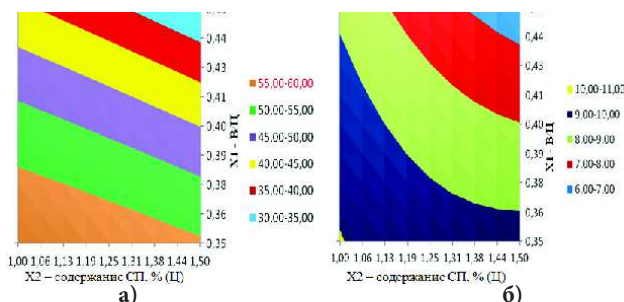
$$f_{ctd} = 8,58 - 1,02x_1 - 0,77x_2 - 0,14x_1^2 + 0,21x_2^2 - 0,40x_1x_2. \quad (3)$$

Анализ моделей 1–3 показывает, что на величину подвижности бетонной смеси положительно влияют оба фактора:  $X_1$  (величина водоцементного отношения) и  $X_2$  (содержание СП), при преимущественном влиянии величины В/Ц. Влияние указанных факторов на прочностные показатели бетона обратное по знаку: с увеличением В/Ц и содержания СП прочностные показатели бетона снижаются.

Графические интерпретации моделей 1–3 приведены на рис. 1 и рис. 2.



**Рисунок 1.** Влияние В/Ц и содержания СП на подвижность бетонной смеси



**Рисунок 2.** Влияние В/Ц и содержания СП на  $f_{cm}$  (а) и на  $f_{ctd}$  (б) бетона

Задача оптимизации решается в соответствии с принятыми граничными значениями функций отклика: подвижность по диаметру распыла конуса должна быть не менее 550 мм (требование к смесям СУБ), прочность при сжатии — не менее 45,0 МПа (требование EN 1504 к цементным бетонам для конструкционного ремонта). Таким требованиям отвечает область оптимальных составов бетонных смесей по величине водоцементного отношения ( $V/C = 0,35...0,4$ ) и содержанию суперпластификатора (СП = 1,25...1,5% от массы цемента) при 10%-ном содержании микрокремнезема от массы цемента в смеси (рис. 3).

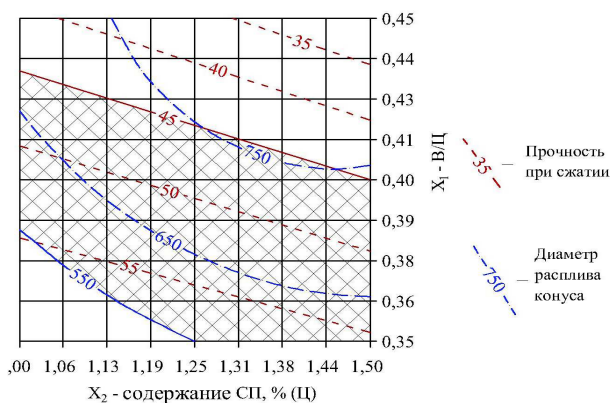


Рисунок 3. Область оптимальных составов СУБ

**Выводы.** Выполнена оптимизация состава самоуплотняющегося бетона по величине водоцементного отношения и содержанию поликарбоксилатного СП Adium 150 при 10%-ном содержании от массы цемента в смеси микрокремнезема Elkem Microsilica.

Для обеспечения подвижности смеси по диаметру распыла стандартного конуса не менее 550 мм, предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте не менее 45 МПа, область оптимальных составов лежит в пределах: ( $V/C = 0,35-0,40$ ); (СП = 1,25-1,5%).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
2. Фаликман, В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // 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. – Р. 5–15.
4. Фаликман, В.Р. Строительно-технические свойства особовысокопрочных быстротвердеющих бетонов / В.Р. Фаликман, Ю.В. Сорокин, О.О. Калашников // Бетон и железобетон. – 2004. – №5. – С. 5–10.
5. Калашников, В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов // Строительные материалы XXI века. Технологии бетонов. 2007. – Часть 1. Виды реологических матриц в бетонной смеси и стратегия повышения прочности бетона и экономии его в конструкциях. – №5. – С. 8–10.
6. Саницкий, М.А. Самоущільнюючі бетони на основі модифікованих цементуючих систем / М.А. Саницкий, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак, І.І. Кіракевич // Дні сучасного бетону: XI Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя: „Будіндустрія ЛТД”, 2010. – С. 103–108.

Материал поступил в редакцию 13.03.17

#### KOVALENKO O., YUZIUK O. Optimization of composition of self - compacting concrete for repairs of hydrotechnical structures

Application of self compacting concrete (SCC) for the repair and restoration of concrete waterworks provides the ability to carry out works in a short time to fix the conditions of access to structures, reduction of energy and time-consuming process and the most complete filling large defects without vibro. It is necessary to solve the compromise the task - on the one hand, to provide high mobility of the mixture during the molding, on the other - to provide the necessary strength of hardened concrete.

УДК 667.637.222:625.75

Э.А. Тур

#### ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АКРИЛОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Введение.** Акриловые сополимеры являются одним из современных плёнкообразователей для лакокрасочных материалов (ЛКМ). Они образуют долговечные УФ- и атмосферостойкие покрытия. Эти свойства оказались наиболее ценными для промышленных покрытий: фасадных и интерьерных красок, ЛКМ для металлических поверхностей, красок для горизонтальной разметки автомобильных дорог, защитных покрытий, применяемых в водохозяйственном строительстве для минеральных поверхностей. Для наружных красок важнейшим пока-

зателем является функциональная долговечность. Она зависит как от качества отвержденного покрытия, так и от уровня эксплуатационной нагрузки (в том числе от климатических условий). Поэтому определяющими при выборе наиболее долговечного защитного материала являются натурные испытания.

Основой любого лакокрасочного материала является плёнкообразующий полимер. Его назначение — образовывать когезионную плёнку на конкретной подложке (минеральной, металле, древесине, пластике), обладаю-

Тур Элина Аркадьевна, к.т.н., доцент, заведующая кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267