

УДК 666.97

С.В. Алексахин, Б.И. Булгаков, М.Н. Попова

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ. ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА**

Данная статья посвящена вопросу повышения эксплуатационных характеристик пластифицированных мелкозернистых бетонов для гидротехнических сооружений. Во время исследований для сохранения подвижности бетонных смесей использовался отечественный суперпластификатор «Химком-Ф1». В статье приведено сравнение его влияния на бетонную смесь с другими современными суперпластификаторами. Для уплотнения микроструктуры бетона был использован высокоактивный метакаолин. Исследования показали, что добавка метакаолина повышает прочность мелкозернистых бетонов, а также их морозостойкость и водонепроницаемость. Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору оптимальных дозировок компонентов. В рамках исследований было проведено сравнение двух современных гидрофобизаторов «Софэксил 40» и «Софэксил 60–80». По результатам экспериментов выяснилось, что «Софэксил 40» оказывает большее положительное влияние на гидротехнические свойства мелкозернистых бетонов, чем «Софэксил 60–80». Кремний органический гидрофобизатор при этом вводился с водой затворения. Результатом экспериментального исследования является выбор оптимального состава мелкозернистого гидротехнического бетона с улучшенными характеристиками.

Гидротехнический бетон; пластификатор; сохраняемость бетонной смеси; морозостойкость; водонепроницаемость; гидрофобизация; метакаолин; уплотнение структуры; долговечность.

S.V. Alexashin, B.I. Bulgakov, M.N. Popova

**FINE CONCRETE FOR HYDRAULIC ENGINEERING MODIFIED
BY COMPLEX ADDITIVE**

This article is devoted to the design of a new complex additive and studying of its influence on the properties of fine-grained concrete. Also, the article contains the facts of the previous studies of effects of domestic superplasticizers keeping the mobility of fine-grained concrete mixtures and dynamic of hardening plasticized fine concrete. For keeping the mobility of analyzed fine concrete was used a domestic superplasticizer "Himcom F1". It showed better performance compared to other popular superplasticizers. To improve the microstructure of concrete high reactivity metakaolin fume was used. The experiment showed the increasing of strength, water- and frost-resistance. To increase the water- and frost-resistance more were studied two of domestic water-repellents "Sofexil 40" and "Sofexil 60-80". According the result of experiment "Sofexil 40" effects on the properties of fine-concrete for hydraulic engineering better than "Sofexil 60-80". The water-repellent "Sofexil 40" needs to be dissolved in the water before. Finally, the article includes the results of the experimental select of the optimal composition of the fine hydraulic concrete with specified properties.

Concrete for hydraulic engineering; superplasticizer; frost-resistance; water-resistance; water-repellency; high reactivity metakaolin fume; structure improving; durability.

В Российской Федерации насчитывается около 3 млн рек общей протяженностью в 10 млн км. На берегах рек располагается большое количество городов, также многие из них являются судоходными. Речные гидротехнические сооружения во многих городах вследствие их интенсивной эксплуатации находятся в плачевном состоянии. Ремонт таких сооружений, как правило, очень трудоемкий и дорогостоящий.

Для решения задачи повышения эксплуатационных характеристик эффективных гидротехнических мелкозернистых бетонов (МЗБ) необходима оптимизация составов таких бетонов и технологии их приготовления, а также использование различных органических и минеральных модифицирующих добавок [1].

Целью работы являлось получение мелкозернистого бетона, предназначенного для строительства речных гидротехнических сооружений и обладающего необходимой прочностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью за счёт уплотнения его структуры путём использования комплексной органоминеральной добавки, состоящей из суперпластификатора «Химком Ф-1», метакаолина и гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости «СОФЭКСИЛ». При этом все составные компоненты разработанной органоминеральной добавки – отечественного производства.

Для снижения водопотребности мелкозернистой цементно-песчаной бетонной смеси при сохранении её требуемой подвижности ($R_K = 150-160$ мм) в качестве пластифицирующей добавки применяли суперпластификатор «Химком Ф-1» в виде 30 %-ного водного раствора. Суперпластификатор «Химком Ф-1» представляет собой сульфированный продукт альдольной конденсации формальдегида. Концентрация суперпластификатора варьировалась в пределах от 0,6 до 1,5 % от массы цемента в пересчёте на сухое вещество.

Выбор «Химком Ф-1» в качестве суперпластификатора обусловлен тем, что на основании обзора результатов экспериментальных исследований его влияния на технологические свойства бетонных смесей и эксплуатационные показатели бетонов на их основе, опубликованных в научно-технической литературе, был сделан вывод, что применение этой пластифицирующей добавки позволит получить прочный и долговечный мелкозернистый бетон, обладающий высокой морозостойкостью и водонепроницаемостью, из высокоподвижной бетонной смеси, характеризующейся высокой однородностью, нерасслаиваемостью и необходимой сохраняемостью подвижности, а также практически не требующей виброуплотнения (рис. 1).

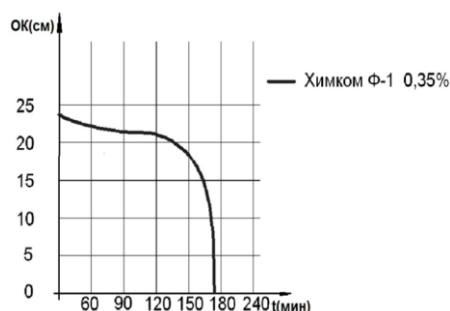


Рис. 1. Сохраняемость бетонной смеси В25(П4) с применением цемента ПЦ 400 Д5 (LAFARGE CEMENT) в количестве 370 кг/м^3

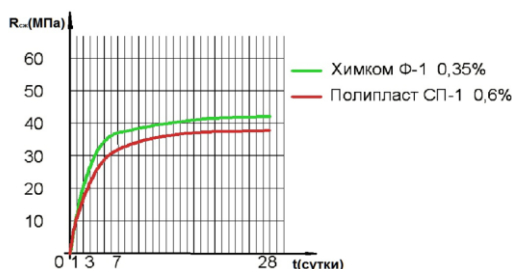


Рис. 2. Сравнительная динамика набора прочности бетона В25 (П4) с применением цемента ПЦ 400 Д5 (LAFARGE CEMENT), 370 кг/м^3

Пластифицирующую добавку «Химком Ф-1» следует вводить в бетонную смесь вместе с водой затворения при обеспечении достаточного времени перемешивания после введения добавки. Причём оптимальную дозировку суперпластификатора «Химком Ф-1» для конкретного бетона следует определить опытным путём.

По сравнению с современными суперпластификаторами отечественного производства «Полипласт СП-1», «ЦемАктив СУ-1» и «Динамикс СП 180-2» «Химком Ф-1» придаёт бетону большую динамику набора прочности как при твердении в нормальных условиях, так и в случае проведения ТВО (рис. 2–4), а также обеспечивает долговременную подвижность бетонной смеси. При этом требуется более низкая его дозировка.

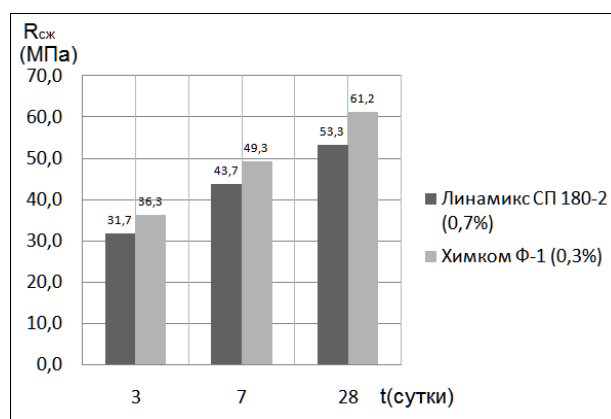


Рис. 3. Сравнительная динамика набора прочности бетона. Цемент Воскресенский ПЦ400Д20Б, 320 кг/м^3 , В/Ц= 0,55, ОК= 22 см

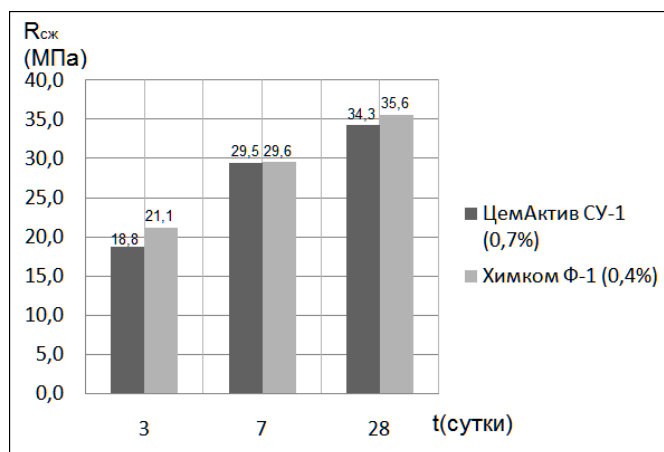


Рис. 4. Сравнительная динамика набора прочности бетона. Класс бетона В40(П4). Цемент Новороссийский ПЦ500Д0Н, 390 кг/м^3

Суперпластификатор «Химком Ф-1» по сравнению с пластификаторами на основе лигносульфонатов или нафталина, например С-3, не обладает резким, неприятным запахом, не подвержен расслоению и выпадению в осадок и, кроме того, может храниться при отрицательных температурах до $-12 \text{ }^\circ\text{C}$. «Химком Ф-1» не вызывает коррозию стальной арматуры в бетоне и не снижает пассивирующего действия бетона по отношению к ней. Он пожаровзрывобезопасен и по ГОСТ

12.1.002 относится к 3 классу опасности (умеренно опасное вещество с ПДК в воздухе рабочей зоны – 2 мг/м³ и в атмосфере населённых пунктов – 0,5 мг/м³). Причём затвердевший бетон с добавкой пластификатора вредных веществ в воздушную среду не выделяет.

В результате проведённой экспериментальной работы было установлено, что наибольшая прочность мелкозернистого бетона на сжатие (55,4 МПа) и на растяжение при изгибе (8,8 МПа) в возрасте 28 суток нормального твердения, а также его высокая водонепроницаемость (W20) достигаются при использовании суперпластификатора «Химком Ф-1» в количестве 1,2 % от массы цемента в пересчёте на сухое вещество (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические показатели бетона пластифицированного «Химком Ф-1»

№ состава	I	II	III	IV
Цемент, кг	550	550	550	550
Песок, кг	1500	1500	1500	1500
Химком Ф-1 (30 %-ный раствор), кг	11(0,6 %)	16(0,9 %)	22(1,2 %)	28(1,5 %)
Вода, кг	180	156	150	144
Подвижность по расплыву конуса, мм	160	115	150	159
R _{изг} 28сут, МПа	5,13	7,5	8,8	8,3
R _{сж} 28сут, МПа	26,4	46,2	55,4	53,2
Водонепроницаемость: сопротивление бетона прониканию воздуха, с/см ³ марка	-	-	355,0 W20	157,9 W20

Примечание: в скобках указана концентрация «Химком Ф-1» в % от массы цемента в пересчёте на сухое вещество.

По данным литературных источников [2], одним из основных видов разрушающих дефектов бетона является повышенная пористость. Она возникает вследствие деструкции бетона во время эксплуатации и выражается в разрыхлении его структуры, ослаблении связи между кристаллическими новообразованиями в цементном камне, а также цементным камнем и частицами заполнителя, что приводит к снижению прочности бетона, а также способствует фильтрации в объём бетона воды и агрессивных жидкостей, морозному и абразивному разрушению. Решением этой проблемы может стать значительное уплотнение структуры бетона. По результатам исследований, приведенных в научно-технической литературе, известно, что с целью сокращения расхода цемента, а также уплотнения структуры бетона в качестве тонкодисперсной минеральной добавки в бетонную смесь вводят метакаолин. Причём, его количество не должно превышать 15 % от массы цемента, так как он содержит активный диоксид кремния и оксид алюминия примерно в одинаковой пропорции и по этой причине сильнее, чем микрокремнезём, связывает свободный гидроксид кальция, что приводит к снижению щёлочности среды в бетоне и может вызвать коррозию стальной арматуры [3]. Кроме того, введение метакаолина, как и любого другого тонкомолотого наполнителя, в большем количестве повышает водопотребность бетонной смеси из-за его мелкодисперсности и большой величины удельной поверхности [4], достигающей 15 м²/г и выше.

В результате проведённых экспериментов было установлено, что при введении в пластифицированную мелкозернистую бетонную смесь высокоактивного метаксаолина с $S_{уд} = 15 \text{ м}^2/\text{г}$ в количестве до 15 % от массы цемента с одновременным сокращением доли песка наблюдался небольшой рост прочности бетона в возрасте 28 суток нормального твердения при испытании на растяжение при изгибе с 8,8 до 9,8 МПа с одновременным незначительным повышением его прочности на сжатие с 55,4 до 56,7 МПа. По полученным экспериментальным данным водонепроницаемость мелкозернистого бетона в результате введения в его состав метаксаолина изменилась мало и осталась на уровне, соответствующем марке по водонепроницаемости W20 (табл. 2).

Таблица 2

Определение оптимального содержания метаксаолина по прочности и водонепроницаемости пластифицированного мелкозернистого бетона

№ состава	I (контрольный)	II	III	IV
Цемент, кг	550	550	550	550
Песок, кг	1500	1472	1445	1417,5
Химком Ф-1 (30 %-ный раствор), кг	22(1,2 %)	22(1,2 %)	22(1,2 %)	22(1,2 %)
Вода, кг	150	150	150	150
Метаксаолин, кг	-	27,5	55	82,5
Водонепроницаемость: сопротивление бетона прониканию воздуха, $\text{с}/\text{см}^3$ марка	355,0 W20	325,5 W20	318,4 W20	324,8 W20
$R_{изг} 28 \text{ сут}, \text{МПа}$	8,8	8,6	9,0	9,8
$R_{сж} 28 \text{ сут}, \text{МПа}$	55,4	55,2	56,2	56,7

С целью повышения водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнического мелкозернистого бетона в бетонную смесь вводились гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости [3]: «СОФЭКСИЛ-40», представляющая собой 50%-ный водный концентрат метилсиликоната калия, и «СОФЭКСИЛ 60-80» в виде 60%-ной водной силан-силоксановой эмульсии.

В результате было экспериментально установлено, что введение в пластифицированную мелкозернистую бетонную смесь «СОФЭКСИЛ-40» в количестве 0,2 % от массы цемента эффективнее повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона, чем добавка 1,5 % «СОФЭКСИЛ 60-80» (табл. 3). Указанные дозировки данных гидрофобизаторов для бетонов рекомендованы их производителем в результате проведённых экспериментальных исследований. При использовании 0,2 % «СОФЭКСИЛ-40» фактическая морозостойкость бетона увеличилась с 492 до 653 циклов испытаний, что соответствует повышению его марки по морозостойкости с F400 до F600. Кроме того, применение «СОФЭКСИЛ-40» по сравнению с «СОФЭКСИЛ 60-80» способствует повышению прочности мелкозернистого бетона на сжатие (соответственно 57,5 и 51,4 МПа в то время, как у негидрофобизированного бетона – 55,4 МПа (табл. 3).

Таблица 3

Определение прочности, морозостойкости и водонепроницаемости пластифицированного мелкозернистого бетона, гидрофобизированного кремнийорганическими жидкостями

№ состава	I(Контрольный)	II	III	IV
Цемент, кг	550	550	550	550
Песок, кг	1500	1417,5	1500	1500
Химком Ф-1 (30 %-ный раствор), кг	22(1,2 %)	22(1,2 %)	22(1,2 %)	22(1,2 %)
Вода, кг	150	150	150	150
Метакаолин, кг	–	82,5(15 %)	–	–
Софэксил – 40, кг	–	–	1,1(0,2 %)	–
Софэксил 60–80, кг	–	–	–	8,25(1,5 %)
Rж28сут, МПа	55,4	56,2	57,5	51,4
Фактическая морозостойкость, циклы испытаний	492	446	653	379
Марка по морозостойкости	F400	F400	F600	F300
Водонепроницаемость: сопротивление бетона прониканию воздуха, с/см ³ , марка	355,0 W20	324,8 W20	338,5 W20	296,7 W20

Примечание: в скобках указана концентрация добавок в % от массы цемента.

Вывод. Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено: введение в состав бетонной смеси, разработанной комплексной органоминеральной добавки, состоящей из суперпластификатора «Химком Ф-1» (в количестве 1,2 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество), обладающего сильным пластифицирующим и водоредуцирующим действием, метакаолина (15 % от массы цемента), в качестве тонкодисперсного минерального уплотняющего компонента и гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости «СОФЭКСИЛ-40» (0,2 % от массы цемента), позволяет получить мелкозернистый бетон для строительства речных гидротехнических сооружений, обладающий высокой прочностью ($R_{сж28} = 57,5$ МПа), водонепроницаемостью (W20) и морозостойкостью (F600). При этом оптимальное соотношение сырьевых компонентов в 1 м³ мелкозернистой бетонной смеси составляет:

- ◆ цемент – 550 кг;
- ◆ песок – 1417,5 кг;
- ◆ вода – 150 кг;
- ◆ «Химком Ф-1» (в пересчете на сухое вещество) – 6,6 кг;
- ◆ метакаолин – 82,5 кг;
- ◆ «СОФЭКСИЛ-40» – 1,1 кг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексакин С.В., Булгаков Б.И.* Получение мелкозернистых бетонов с высокими эксплуатационными показателями // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры. – М.: Изд-во «КЮГ», 2012. – С. 12-13.
2. *Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С., Муртазаев С.-А.Ю.* Энерго- и ресурсосберегающие материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений. – М.: Комтех-Принт, 2006. – 235 с.
3. *Рамачандрани В.С.* Добавки в бетон. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1988. – 291 с.
4. *Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: Технопроект, 1998. – 560 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Ф. Коровяков.

Алексашин Сергей Владимирович – ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»; e-mail: alexx1988@list.ru; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; тел.: 89169922221; кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов; аспирант.

Булгаков Борис Игоревич – e-mail: fakultetst@mail.ru; тел.: 84952874914 (3101); кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов; к.т.н.; доцент; профессор кафедры.

Попова Марина Николаевна – e-mail: popovavologda@yandex.ru; тел.: 89671455262; кафедра полимерных строительных материалов и прикладной химии; д.х.н.; профессор.

Alexashin Sergey Vladimirovich – Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: alexx1988@mail.ru; 26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia; phone: +79169922221; the department of technology of binders and concretes; postgraduate student.

Bulgakov Boris Igorevich – e-mail: fakultetst@mail.ru; phone: +74952874914 (3101); the department of technology of binders and concretes; cand. of eng. sc.; associate professor; professor of department.

Popova Marina Nikolaevna – e-mail: popovavologda@yandex.ru; phone: +79671455262; the department of polymer construction materials and applied chemistry; dr. of chem. sc.; professor.

УДК 630.432

В.В. Богданова, Л.В. Радкевич

ЭКОНОМИЧНЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы – получение устойчивых к хранению, эффективных, экономичных и экологически безопасных огнезащитных составов на основе фосфатов двух- или трёхвалентных металлов для деревянных строительных конструкций. Установлено, что огнезащитная эффективность синтезированных дисперсий зависит от природы металла и соотношения компонентов состава. Так, наиболее высокими показателями огнезащитной эффективности обладает продукт синтеза на основе фосфатов алюминия, представляющий собой смесь рентгеноаморфного продукта, кристаллических фосфата алюминий-аммония $(\text{NH}_4)_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ и дигидрофосфата аммония. Химическим анализом установлено, что суммарное содержание дигидрофосфата аммония в продукте синтеза на основе алюминия составляет около 50%. Сопоставительными исследованиями огнезащитной эффективности жидкостной и дисперсной составляющей продукта синтеза с мольным соотношением $\text{P}_2\text{O}_5 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 8,2:1$ установлено, что дигидрофосфат аммония, находящийся в растворной части дисперсии, вносит несущественный вклад в его огнезащитные свойства. Одновременно показано, что данная дисперсия обладает высокими огнезащитными свойствами, устойчивостью к хранению, равномерностью и прочностью покрытия, хорошей адгезией к древесине, а также экономически конкурентна.

Огнезащитная эффективность; фосфаты металлов; дисперсия.

V.V. Bogdanova, L.V. Radkevich

THE ECONOMICAL FIREPROOF COMPOSITIONS FOR WOODEN BUILDING CONSTRUCTIONS

The purpose of the work - the reception of fireproof compositions for wooden building constructions, based on the phosphates of two- or three- valence metals, which are stable to storage, effective, economic and ecologically safe. It is established that fireproof effectivity of synthesized dispersions depends on the metal nature and components interrelation in the composition. So, the highest indexes of fireproof effectivity have the product of synthesis, based on the aluminium phosphates, which representing an admixture of the X-ray amorphous product, crystal phosphate of aluminium-ammonium $(\text{NH}_4)_3\text{Al}_5\text{H}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ and ammonium dihydrogen phosphate. By