

УДК 666.97

*Алексашин С.В., аспирант  
ФГБОУ ВПО «МГСУ»  
г. Москва, Ярославское шоссе д. 26.  
+7-916-992-22-21, alexx1988@list.ru*

## ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Данная статья посвящена вопросу повышения эксплуатационных характеристик пластифицированных мелкозернистых бетонов для гидротехнических сооружений. Приведены результаты экспериментальных исследований по подбору оптимальных дозировок компонентов. На основе сравнения двух современных гидрофобизаторов показано влияние кремнийорганических соединений на физико-механические показатели песчаных бетонов. Результатом экспериментального исследования является подбор оптимального состава мелкозернистого гидротехнического бетона с улучшенными характеристиками.

**Ключевые слова:** гидротехнический бетон, сохраняемость бетонной смеси, морозостойкость, гидрофобизация, метакаолин, уплотнение структуры, долговечность.

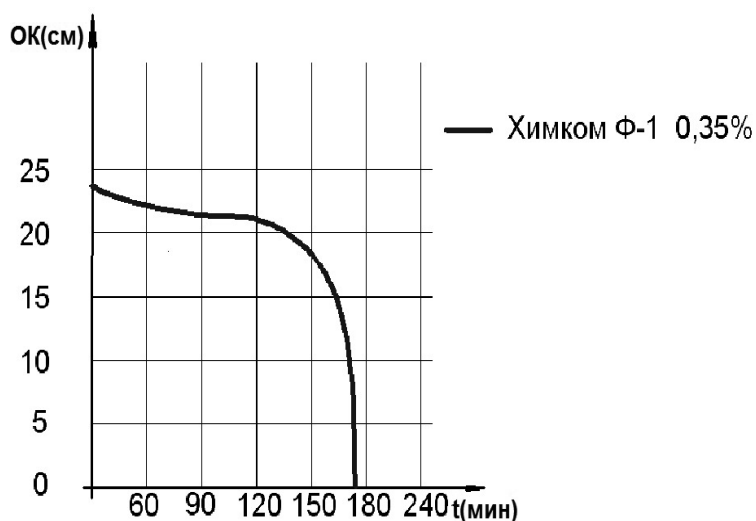
В Российской Федерации насчитывается около 3 млн. рек общей протяженностью в 10 млн. км. На берегах рек, многие из которых являются судоходными, расположено большое количество городов. Речные гидротехнические сооружения во многих городах вследствие их интенсивной эксплуатации находятся в плачевном состоянии.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

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

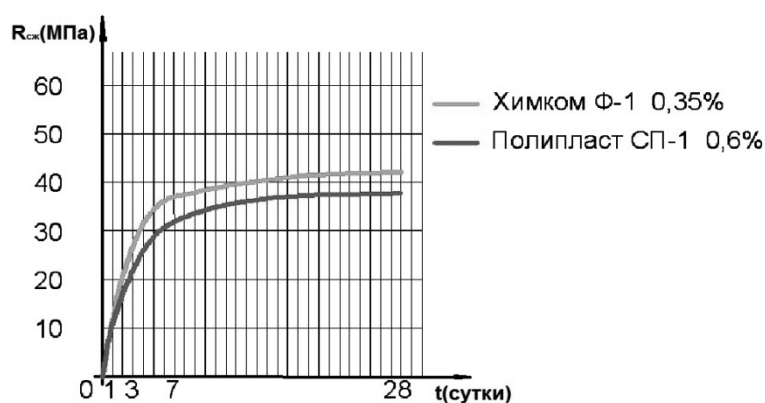
Целью работы являлось получение мелкозернистого бетона, предназначенного для строительства речных гидротехнических сооружений и обладающего необходимой прочностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью за счёт уплотнения его структуры путём использования органических и минеральных добавок в виде суперпластификатора «Химком Ф-1», метакаолина и гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости «СОФЭКСИЛ». Причём, все эти соединения – отечественного производства.

Для снижения водопотребности мелкозернистой цементно-песчаной бетонной смеси при сохранении её требуемой подвижности ( $PK=150-160$  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 добавки.

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).



**Рисунок 1.** Сохраняемость бетонной смеси В25(П4) с применением цемента ПЦ 400 Д5 (LAFARGE CEMENT) в количестве 370кг/м<sup>3</sup>

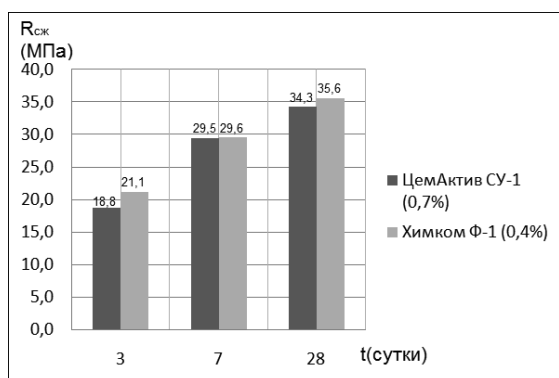


**Рисунок 2.** Сравнительная динамика набора прочности бетона В25 (П4) с применением цемента ПЦ 400 Д5 (LAFARGE CEMENT), 370кг/м<sup>3</sup>

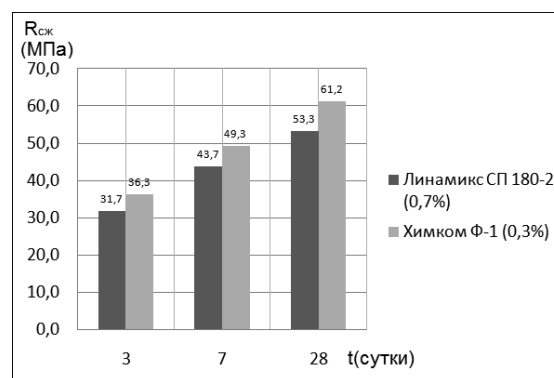
Пластифицирующую добавку «Химком Ф-1» следует вводить в бетонную смесь вместе с водой затворения при обеспечении достаточного времени перемешивания после введения добавки. Причём, оптимальную дозировку суперпластификатора «Химком Ф-1» для конкретного бетона следует определять опытным путём.

По сравнению с современными суперпластификаторами отечественного производства «Полипласт СП-1», «ЦемАктив СУ-1» и «Линамикс 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 сохраняемость подвижности бетонной смеси. При этом, требуется более низкая его дозировка.

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°С.



**Рисунок 3.** Сравнительная динамика набора прочности бетона. Цемент Воскресенский ПЦ400Д20Б, 320 кг/м<sup>3</sup>, В/Ц= 0,55, ОК= 22 см



**Рисунок 4.** Сравнительная динамика набора прочности бетона. Класс бетона В40(П4). Цемент Новороссийский ПЦ500Д0Н, 390 кг/м<sup>3</sup>

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

«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/м<sup>3</sup> и в атмосфере населённых пунктов – 0,5 мг/м<sup>3</sup>). 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 мелкозернистого 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%-й 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 <sub>изг28сут</sub> МПа	5,13	7,5	8,8	8,3
R <sub>сж28сут</sub> МПа	26,4	46,2	55,4	53,2
Водонепроницаемость: сопротивление бетона прониканию воздуха, с/см <sup>3</sup> 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 разупрочняющих факторов бетона является его 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 объем бетона воды и агрессивных жидкостей, и, кроме того, 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, т.к. 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, достигающей 15 м<sup>2</sup>/г и выше [4].

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%-й раствор), кг	22(1,2%)	22(1,2%)	22(1,2%)	22(1,2%)
Вода, кг	150	150	150	150
Метаксаолин, кг	-	27,5(5%)	55(10%)	82,5(15%)
Водонепроницаемость: сопротивление бетона прониканию воздуха, $\text{с}/\text{см}^3$ марка	355,0 W20	325,5 W20	318,4 W20	324,8 W20
$R_{изг28сут.}$ МПа	8,8	8,6	9,0	9,8
$R_{сж28сут.}$ МПа	55,4	55,2	56,2	56,7

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

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).

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

**Таблиця 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	1417,5	1417,5
Химком Ф-1 (30%-й 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%)	82,5(15%)	82,5(15%)
Софэксил- 40, кг	-	-	1,1(0,2%)	-
Софэксил 60-80, кг	-	-	-	8,25(1,5%)
$R_{сж28сут}$ МПа	55,4	56,7	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 <sup>3</sup> , 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 органических и минеральных добавок в виде суперпластификатора «Химком Ф-1» ( в количестве 1,2% от массы цемента в пересчёте 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 м<sup>3</sup> мелкозернистой бетонной смеси составляет:

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

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексашин 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. 235с.
3. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие. М.: Стройиздат. 1988. 291с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 560 с.

**ПІДБІР ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ ГІДРОТЕХНІЧНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ,  
МОДИФІКОВАНОГО ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ**

С.В.Алексашин

Дана стаття присвячена питанню підвищення експлуатаційних характеристик пластифікованих дрібнозернистих бетонів для гідротехнічних споруд. Наведено результати експериментальних досліджень з підбору оптимальних дозувань компонентів. На основі порівняння двох сучасних гідрофобізаторів показано вплив кремнійорганічних сполук на фізико-механічні показники піщаних бетонів. Результатом експериментального дослідження є підбір оптимального складу дрібнозернистого гідротехнічного бетону з поліпшеними характеристиками.

**Ключові слова:** гідротехнічний бетон, збереженість бетонної суміші, морозостійкість, гідрофобізація, метакнолін, ущільнення структури, довговічність.

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

© S.V. Alexashin.

This article is devoted to the improvement of properties of fine-grained concrete for hydraulic engineering. Also, the article contains the results of experimental studies on the selection of optimal amounts of the components. Finally, the article includes the results of the experimental selection of the optimal composition of the fine hydraulic concrete with specified properties.

**Key words:** concrete for hydraulic engineering, superplasticizer, frost-resistance, water-resistance, water-repellency, high reactivity metakaolin fume, structure improving, durability.