

УДК 691.33

**Изотов В.С.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [V\\_S\\_izotov@mail.ru](mailto:V_S_izotov@mail.ru)

**Ибрагимов Р.А.** – аспирант

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе приводятся данные о влиянии новой комплексной добавки на основе эфиров поликарбоксилатов на долговечность тяжелого бетона. Рассмотрено влияние комплексной добавки на усадку, набухание и сульфатостойкость цементных композиций, морозостойкость, водонепроницаемость и показатели пористости тяжелого бетона.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** комплексная добавка, тяжелый бетон, долговечность.

**Izotov V.S.** – doctor of technical sciences, professor

**Ibragimov R.A.** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **INFLUENCE OF THE COMPLEX ADDITIVE ON DURABILITY OF HEAVY CONCRETE**

### **ABSTRACT**

In the work the data about influence of a new complex additive on the basis of ethers polycarboxylates on durability of heavy concrete is cited. Influence of a complex additive on contraction, swelling and sulfate resistance cement compositions, frost resistance, water resistance and indicators of porosity of heavy concrete is considered.

**KEYWORDS:** complex additive, heavy concrete, durability.

В настоящее время развитие технологии бетона и проблемы повышения качества, долговечности, а также экономичности бетонов решаются путем применения различного рода химических добавок. Введение органических и неорганических соединений в состав бетона позволяет в широком диапазоне менять его физико-механические показатели, состав и структуру, а также оказывает положительное влияние на долговечность бетонных и железобетонных конструкций [1]. Особое внимание в последнее время уделяется разработке комплексных добавок, позволяющих одновременно целенаправленно регулировать сразу несколько свойств цементных бетонов.

С появлением высокоэффективных гиперпластификаторов наблюдается тенденция в разработке комплексных добавок на их основе, позволяющих получать высокопрочные и высококачественные бетоны с низким водоцементным отношением, отличающиеся пониженной величиной капиллярной пористости, от которой зависит долговечность бетона.

Ранее нами была получена комплексная добавка (КД) на основе гиперпластификатора, ускорителя твердения и гидрофобизатора и оптимизирован ее состав. В качестве гиперпластификатора использована добавка Одолит-К на основе эфиров поликарбоксилата (ООО «Сервис-Групп»), в качестве ускорителя твердения – сульфат натрия (СН), в качестве гидрофобизатора – водонерастворимый кремнийорганический олигомер ФЭС-50 (Чебоксарский Химпром). На основе математического планирования эксперимента определены оптимальные дозировки компонентов комплексной добавки, которые составили: гиперпластификатор – 1 %, ускоритель твердения – 1,5 %, гидрофобизатор – 0,1 % от массы цемента.

Выявлено влияние оптимального содержания комплексной добавки и ее компонентов на кинетику усадочных деформаций цементно-песчаного раствора состава 1:3. По результатам исследования видно (рис. 1), что добавка Одолит-К снижает усадку раствора в возрасте 180 суток в 1,8 раза, по сравнению с составом без добавки, усадка образцов с добавками СН и ФЭС-50 в указанном возрасте составляет 0,89 и 0,81 мм/м соответственно и несущественно отличается от контрольного. Оптимальное содержание компонентов в составе комплексной добавки наиболее существенно снижает усадку раствора в возрасте 180 суток – в 2,5 раза, по сравнению с контрольным.

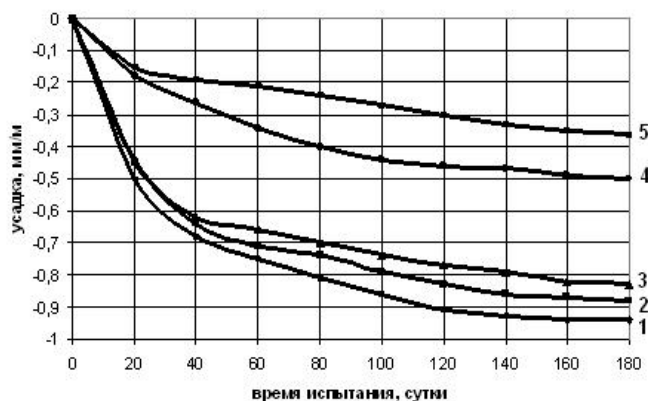


Рис. 1. Усадка цементно-песчаного раствора с исследуемыми добавками: 1 – без добавки; 2 – содержание СН 1,5 %; 3 – содержание ФЭС-50 – 0,1 %; 4 – содержание Одолит-К 1 %; 5 – содержание комплексной добавки 2,6 %

Известно, что разрушение цементных композиций под действием жидких агрессивных сред происходит вследствие растворения составляющих цементного камня с одной стороны, или образования в цементном камне продуктов взаимодействия гидратных новообразований с агрессивной средой, имеющих больший объем, чем сумма объемов исходных соединений. Увеличение объема гидратных новообразований вызывает появление внутренних напряжений, сопровождающихся образованием трещин, приводящих к разрушению бетона [2].

В связи с этим нами изучено влияние исследуемых добавок на сульфатостойкость цементно-песчаного раствора состава 1:3, изготовленного из равнопластичных смесей. Результаты проведенных исследований изменения свойств цементно-песчаных составов от введения добавок на прочность и химическую стойкость представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Влияние комплексной добавки и ее компонентов на сульфатостойкость цементно-песчаного раствора**

Вид и содержание добавок в % от массы цемента	В/Ц	Результаты испытания образцов через 180 суток:				Кс
		в воде		в 5 % растворе сульфата натрия		
		прочность, МПа:				
		R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>	R <sub>сж</sub>	R <sub>изг</sub>	
-	0,42	29,54	4,96	15,95	2,69	0,54
1,5 СН	0,42	31,76	5,06	19,72	3,15	0,62
1 Одолит-К	0,31	54,2	7,05	49,87	6,48	0,92
0,1 ФЭС-50	0,42	30,68	5,02	27,3	4,46	0,89
2,6 КД	0,29	56,8	7,46	54,53	7,16	0,96

Как видно из данных табл. 1, комплексная добавка и все ее компоненты повышают сульфатостойкость цементно-песчаного раствора, при этом, как и следовало ожидать, наибольшее повышение сульфатостойкости достигается в составе с комплексной добавкой – на 78 %, по сравнению с составом без добавки.

Для установления влияния комплексной добавки и ее компонентов на деформации набухания в агрессивной среде определялась кинетика деформаций набухания цементно-песчаного раствора состава 1:3 в 5 % растворе сульфата натрия. Установлено, что деформации набухания цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой в 2,2 раза ниже состава без добавки. При этом все компоненты комплексной добавки влияют на снижение деформаций набухания во все сроки испытания. Так, деформации набухания с добавкой Одолит-К в 1,7, с добавкой ФЭС-50 в 1,3 раза ниже состава без добавки. Более низкое значение деформации набухания в составе с комплексной добавкой свидетельствует о более низкой пористости, в первую очередь, капиллярной, по сравнению с составом без добавки, за счет водоредуцирующего эффекта, оказываемого гиперпластификатором в составе комплексной добавки, что приводит к снижению водоцементного отношения на 30 %.

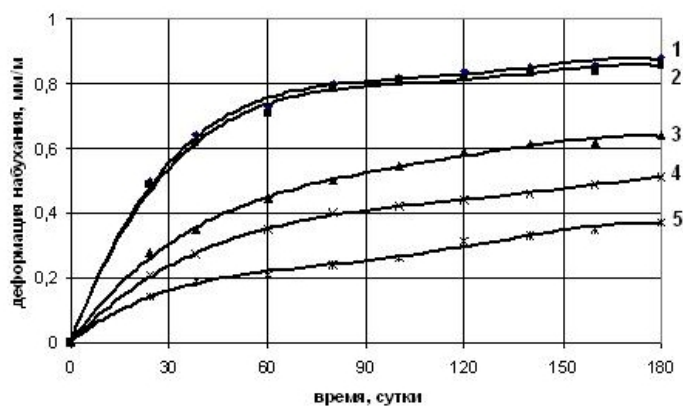


Рис. 2. Кинетика набухания цементно-песчаного раствора с добавками в 5 % растворе сульфата натрия:  
 1 – без добавки; 2 – содержание СН – 1,5 %; 3 – содержание ФЭС-50 – 0,1 %;  
 4 – содержание Одолит-К – 1 %; 5 – содержание комплексной добавки – 2,6 %

Как известно, снижение В/Ц отношения повышает плотность и снижает общую пористость бетона, что неизбежно сказывается не только на водопоглощении, но и на изменении физико-механических свойств, морозостойкости и водонепроницаемости. Для определения влияния комплексной добавки и ее компонентов на показатели пористости бетона, а также на морозостойкость и водонепроницаемость, проведен следующий эксперимент. На разных составах бетона, отличающихся расходом портландцемента, определялись показатели пористости бетона по методике ГОСТ 12730.4-78 [3]. Морозостойкость тяжелого бетона определяли на образцах-кубах 10x10x10 см по ГОСТ 10060.3-95 на приборе «Бетон-Фрост». Водонепроницаемость бетона определяли по приложению 4 ГОСТ 12730.5 на приборе «Агама-2РМ». Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели пористости и долговечности бетона с комплексной добавкой и ее компонентами**

№ п/п	Содержание добавок, %			Состав бетона, кг/м <sup>3</sup>			В/Ц	Показатели поровой структуры, %			W, марка	F, циклы
	Одолит-К	СН	ФЭС-50	Ц	П	Щ		Полный объем пор, П <sub>п</sub>	Объем открытых капиллярных пор, П <sub>о</sub>	Объем условно закрытых пор, П <sub>з</sub>		
1	-	-	-	300	645	1240	0,42	15,3	9,8	2,1	W2	100
2	1	-	-	300	645	1240	0,33	12,5	7,2	2,1	W6	300
3	-	-	0,1	300	645	1240	0,42	13,4	9,1	2,3	W6	150
4	1	1,5	0,1	300	645	1240	0,32	9,1	4,8	2,4	W10	400
5	-	-	-	450	595	1140	0,38	14,2	7,4	1,8	W4	150
6	1	-	-	450	595	1140	0,28	11,3	4,8	1,7	W10	400
7	-	-	0,1	450	595	1140	0,38	12,6	6,2	1,9	W12	200
8	1	1,5	0,1	450	595	1140	0,28	6,4	3,2	2,1	W14	550
9	-	-	-	600	545	1040	0,32	9,2	4,6	1,6	W6	200
10	1	-	-	600	545	1040	0,21	7,4	3,1	1,6	W12	500
11	-	-	0,1	600	545	1040	0,32	7,9	4,2	1,8	W14	300
12	1	1,5	0,1	600	545	1040	0,21	5,1	2,2	1,9	W20	800

Как следует из данных табл. 2, максимально высокая пористость характерна для бетона контрольного состава без добавок. Такой бетон характеризуется повышенным водоцементным отношением, что способствует формированию более пористой капиллярной структуры затвердевшего бетона. Низкая капиллярная пористость в составах с комплексной добавкой свидетельствует о том, что капиллярные поры в матрице очень малы. Изменение общей и капиллярной пористости является следствием того, что увеличивается степень гидратации цемента и количество низкоосновных гидросиликатов кальция С-S-H [4], что подтверждается

исследованиями, выполненными в работе [5]. Очень низкие показатели пористости, в частности, пониженная доля капиллярных пор, увеличение закрытой пористости за счет снижения капиллярной, приводит к существенному повышению морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Вода в таких порах замерзает при температуре значительно ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Введение комплексной добавки приводит к снижению общей пористости на 40-45 %, по сравнению с составом без добавки. Одновременно доля капиллярных пор уменьшается на 52 % при расходе цемента  $600\text{ кг/м}^3$ , на 57 % – при расходе цемента  $450\text{ кг/м}^3$ , на 51 % – при расходе цемента  $300\text{ кг/м}^3$ , в то время как доля капиллярных пор в бетоне без добавок составляет в среднем 55 % от общей пористости. Растет доля объема условно-закрытых пор в бетоне с комплексной добавкой на 14 % при расходе цемента  $300\text{ кг/м}^3$ , на 16 % – при расходе цемента  $450\text{ кг/м}^3$ , на 18 % – при расходе цемента  $600\text{ кг/м}^3$ , по сравнению с составами без добавок.

Для подтверждения результатов по определению пористой структуры бетона проведен эксперимент по оценке влияния комплексной добавки и ее компонентов – Одолит-К и ФЭС-50 – на водопоглощение при капиллярном подсосе по ГОСТ 31356-2007. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Водопоглощение при капиллярном подсосе цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой и ее компонентами**

№ п/п	Содержание добавок, %			В/Ц	$W_{\text{кп}}, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$
	Одолит-К	СН	ФЭС-50		
1	-	-	-	0,42	3,55
2	1	-	-	0,305	2,8
3	-	-	0,1	0,41	2,5
5	1	1,5	0,1	0,29	0,7

Из табл. 3 видно, что водопоглощение при капиллярном подсосе  $W_{\text{кп}}$  с комплексной добавкой на 80 % меньше, чем в составе без добавок. При этом наибольшее значение в снижении капиллярной пористости вносит гидрофобизатор (на 30 %), затем гиперпластификатор (на 22 %).

Одновременно на образцах, подготовленных для определения величины капиллярного подсоса, определялась кинетика водопоглощения по массе в течение 48 часов. График водопоглощения по массе цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой и ее компонентами представлен на рис. 3.

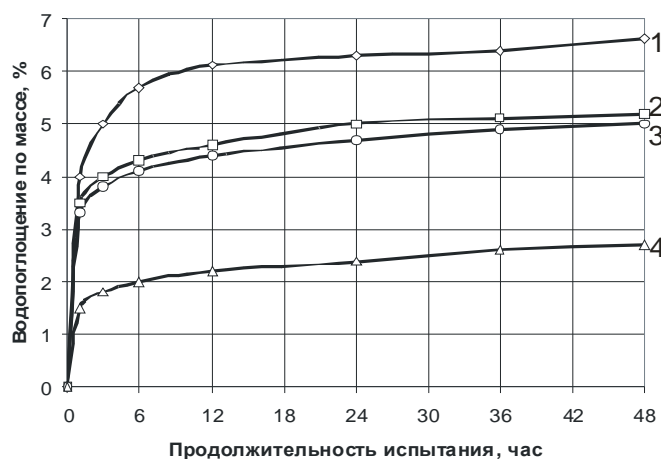


Рис. 3. Кинетика водопоглощения по массе цементно-песчаного раствора с добавками в возрасте 28 суток, твердевших в нормальных условиях: 1 состав – без добавок; 2 состав – гиперпластификатор (1 %); 3 состав – гидрофобизатор (0,1 %); 4 состав – комплексная добавка (2,6 %)

По данным, приведенным на рис. 3, видно, что комплексная добавка снижает величину водопоглощения цементно-песчаного раствора через 48 часов на 60 %, по сравнению с

составом без добавки. Следует отметить, что из всех компонентов комплексной добавки наибольший вклад в снижение водопоглощения вносит гидрофобизатор.

**Основные выводы:**

- 1) введение комплексной добавки снижает усадку цементного раствора в 2,5 раза;
- 2) сульфатостойкость цементных композиций с комплексной добавкой на 78 % выше состава без добавки, деформации набухания состава с комплексной добавкой в 5 % растворе сульфата натрия ниже в 2,2 раза, по сравнению с составом без добавки;
- 3) модификация тяжелого бетона комплексной добавкой способствует существенному повышению морозостойкости (до F 800) и водонепроницаемости (до W20);
- 4) в составах с комплексной добавкой водопоглощение при капиллярном подсосе ниже на 80 %, а водопоглощение по массе – на 60 %, по сравнению с составом без добавок;
- 5) повышение прочности и долговечности модифицированного бетона обусловлено формированием специфической структуры, отличающейся пониженной общей пористостью на 40-45 %, капиллярной пористостью на 51-57 % и увеличением доли закрытых пор на 14-18 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.
2. Цилюсани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. – Тбилиси, 1979. – 255 с.
3. ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Методы определения показателей пористости.
4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны / Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 368 с.
5. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Особенности процесса гидратации цемента с комплексной добавкой // Известия КазГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 229-233.

### REFERENCES

1. Batracov V.G. Modified concrete. Theory and practice. 2 edition, reslave and added. – M.: 1998. – 768 p.
2. Zilosani Z.N. Strinkage and creep of concrete. – Tbilisi, 1979. – 255 p.
3. GOST 12730.4-78. Concrete. Methods of definition of indicators of porosity.
4. Bazhenov Ju.M., Demyanova V.S, Kalashnikov V.I. The modified high-quality concrete / Scientific edition. – M.: Publishers ASV, 2006. – 368 p.
5. Izotov V.S, Ibragimov R.A. Features of process of hydration of cement with the complex additive//Izvestija KazGASU, 2010, № 2 (14). – P. 229-233.