

УДК 691.327:666.97

Кашапов Р.Р. – заведующий лабораторией

E-mail: ramires120490@mail.ru

Красникова Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: knm0104@mail.ru

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Исследование эксплуатационных характеристик тяжелых цементных бетонов с полифункциональной добавкой

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – оценить физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики цементных бетонов с полифункциональной добавкой и сравнить с существующими аналогами.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что разработанная добавка пластифицирующего-ускоряющего-упрочняющего действия не уступает известным аналогам по влиянию на морозостойкость и водонепроницаемость бетона, а превосходит их по водопоглощению, модулю упругости, призмочной прочности и усадочной деформации.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что бетоны с разработанной добавкой повышают долговечность, а именно коррозионную стойкость (по Москвину II и III вид коррозии, соответственно, щелочестойкость, сульфатостойкость).

Ключевые слова: полифункциональная добавка, модуль упругости, призмочная прочность, усадочная деформация, долговечность.

Разработка комплексных добавок полифункционального действия (ПФД), не имеющих побочного негативного влияния на технологические или эксплуатационно-технические свойства бетонной смеси и отвердевшего бетона – важнейшая задача модифицирования, далекая до завершения, критерием оптимальности которого является отношение стоимости введенной в 1 м³ бетона добавки к величине технического эффекта.

Как отмечал В.Г. Батраков [1] применение пластификаторов, снижающих водопотребность бетонной смеси при сохранении подвижности, увеличивает не только прочность отвердевшего бетона, но и его долговечность вследствие уменьшения капиллярной пористости. Снижение В/Ц уменьшает водопоглощение и водогазопроницаемость бетона, способствуя стойкости к замораживанию и оттаиванию, а также действию химических агрессивных сред. Однако, присутствие в ПФД растворимых неорганических солей [2-3], не вступающих в реакцию с цементом и продуктами его гидратации, может привести к интенсивному высолообразованию и снижению стойкости к водным агрессивным средам. В связи с этим целесообразно выявить влияние ПФД, не только на морозостойкость, но и на высолообразование и химическую стойкость.

Водопоглощение мелкозернистого бетона исследовалось на образцах размером 70×70×70 мм, которые были приготовлены из цементно-песчаного раствора (соотношение Ц:П составляло 1:3). Исследования проводились после 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях. В качестве добавок, кроме ПФД, использовались аналоги комплексных добавок: Реламикс Т-2 в количестве 1,2 %, Sika ViscoCrete 24 HE – 0,6 % и Glenium ACE 430 – 1 % от массы Ц. Результаты исследования водопоглощения цементно-песчаных растворов приведены на рис. 1.

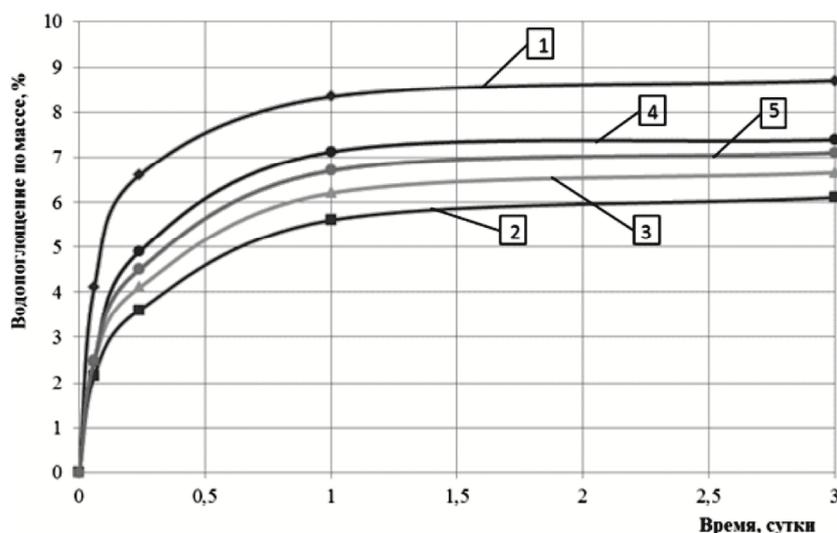


Рис. 1. Кинетика водопоглощения мелкозернистого бетона с добавками:
 1 – контрольный состав; 2 – ПФД; 3 – Реламикс Т-2;
 4 – Sika ViscoCrete 24 HE; 5 – Glenium ACE 430

Из кривых на рис. 1 видно, что величина водопоглощения образцов с ПФД ниже по сравнению с контрольным составом (на 40 %) и со всеми другими комплексными добавками.

Для объяснения снижения водопоглощения образцов при введении ПФД произведен расчет пористости мелкозернистого бетона. Характеристика поровой структуры представлена в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели структуры пор мелкозернистого бетона

Состав бетона с добавкой	Водонасыщение образцов через, %			Показатель среднего радиуса капилляров (вспомогательный) λ_1	Показатель однородности размеров пор, α	Показатель среднего радиуса капилляров, λ
	15 мин $W_{t=0,25}$	1 час $W_{t=1}$	14 сут. W_{max}			
-	4,1	6,75	8,83	1,45	0,61	1,75
ПФД	2,15	3,60	6,80	0,80	0,45	0,61
Реламикс Т-2	2,48	4,10	6,46	1,05	0,55	1,15
SikaVisco Crete 24 HE	2,47	4,44	7,65	0,93	0,62	0,70
Glenium ACE 430	2,49	4,30	7,14	0,97	0,59	0,94

Показатели пористости определялись в соответствии с методикой ГОСТ 12730.4-78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости» по кинетике водопоглощения. По расчетам пористости приведенных в табл. 1 видно, что добавление ПФД в мелкозернистый бетон приводит к понижению капиллярной пористости и улучшению показателей пор по сравнению с контрольным составом и аналогами комплексных добавок.

Эксплуатация строительных конструкций в условиях положительных и отрицательных температур приводит к снижению прочности тяжелого бетона [4]. Материалы, обладающие невысокой водопоглощающей способностью, лучше сохраняют свои характеристики при изменении температур.

Морозостойкость тяжелого бетона, изучалась на образцах размерами 10×10×10 см согласно методике, изложенной в ГОСТ 10060.3-95, при однократном замораживании до температуры – 20 °С.

Водонепроницаемость тяжелого бетона определялась ускоренным методом на приборе Агама-2РМ. Результаты испытания приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние ПФД и аналогов комплексных добавок на эксплуатационные характеристики¹

№	Расход материала на кг/м ³				Вид и количество добавки, (%)	F, циклы	W, циклы
	Цемент	Песок	Щебень	Вода			
1	350	850	1150	189	б/д	100	6
2				112	ПФД (1,3)	200	8
3				137	Реламикс Т-2 (1,2)	200	8
4				133	Sika ViscoCrete 24 HE (0,6)	200	8
5				130	Glenium ACE 430 (1)	200	8

Как видно из табл. 2, при введении ПФД, водопотребность бетонной смеси снижается больше, чем с другими добавками. Снижение В/Ц, в свою очередь, способствует повышению морозостойкости бетона, т.к. капиллярная пористость уменьшается, и, следовательно, повышается морозостойкость (F) на 1-2 ступени. Снижение пористости приводит к повышению водонепроницаемости бетона (W).

Для более полного представления о качестве модифицированного цементного бетона, и конкретно, о его физико-механических свойствах, кроме прочностных характеристик, было изучено влияние ПФД и его аналогов (комплексных добавок) на деформативные свойства бетонных образцов. Необходимость оценки деформативных характеристик модифицированного бетона обусловлена его применением в ответственных несущих конструкциях и сооружениях, подвергаемым статическим и динамическим нагрузкам [5-7]. Были определены модуль упругости и призмная прочность бетона, результаты которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительные характеристики влияния ПФД и других комплексных добавок на модуль упругости и призмную прочность

№	Компоненты смеси, кг/м ³				Вид и количество добавки, (%)	Модуль упругости, ГПа	Призмная прочность, МПа
	Цемент	Песок	Щебень	Вода			
1	350	850	1150	189	-	25	33
2				112	ПФД (1,3)	33	50
3				137	Реламикс Т-2 (1,2)	30	47
4				133	Sika ViscoCrete 24 HE (0,6)	29	46
5				130	Glenium ACE 430 (1)	31	47

ПФД повышает модуль упругости на 32 % от контрольного бездобавочного состава, превосходя по эффективности другие комплексные добавки. Призмная прочность бетона, содержащего 1,3 % ПФД (от масс. Ц.), также выше, чем в случае применения других добавок.

Измерения линейных деформации усадки мелкозернистого бетона производились по следующей методике: в торцевые поверхности образцов-балочек 4×4×16 см заглубляют репера из нержавеющей стали, образцы хранятся в нормально-влажностных условиях (20±5) °С. Замер проводился через 1, 3, 7, 14, 28 сутки. Влияние полифункциональной добавки и добавок-аналогов на величину усадочной деформации показано на рис. 2

Из рис. 2 видно, что введение в мелкозернистый бетон добавки ПФД также как и ее аналогов, приводит к уменьшению усадки мелкозернистого бетона, причем наименьшее значение получено у состава с ПФД. Это связано, с повышенной скоростью и степенью гидратации цемента в присутствии модифицирующих добавок [8].

¹Подбор состава бетона осуществлялся в соответствии ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности» по пункту 7.2.

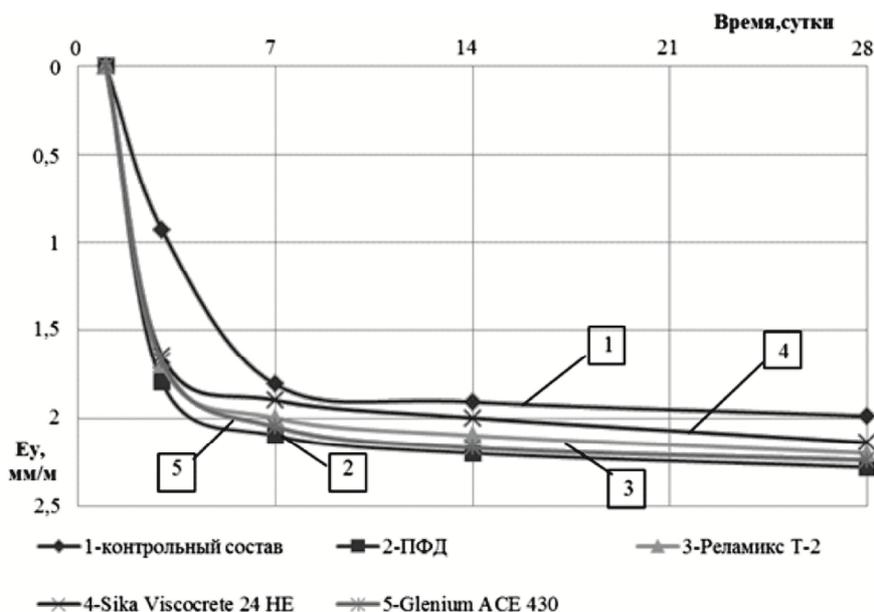
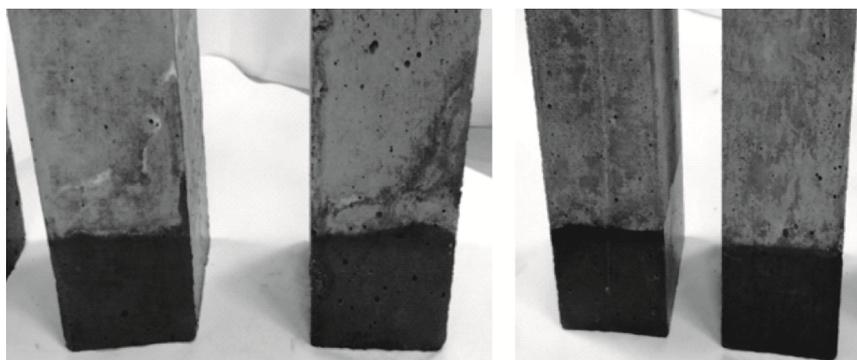


Рис. 2. Деформация усадки цементного камня с различными видами добавок

Несмотря на отсутствие ограничения в нормативной документации, высолообразование влияет на качество бетонных поверхностей [9,10]. Поэтому исследованы бетонные образцы после их испытания на высолообразование по методике, описанной в ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов (рис. 3а и 3б). Определение и оценка эффективности». Испытаны серии образцов-призм размером $7 \times 7 \times 28$ см из бетона контрольного и основного составов, прошедшие твердение в нормально-влажностных условиях и установленные вертикально в индивидуальные емкости с водой на 3-5 см, обдуваемые воздухом с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ не менее 3 часов ежедневно в течение 7 суток. Наличие высолов на открытой поверхности образцов отмечалось визуально по появлению выцветов или налетов соли.



а) без добавок

б) с ПФД

Рис. 3. Высолообразование на поверхности бетонных образцов

На рис. 3а и 3б видно, что высолообразование на поверхности образцов с полифункциональной добавкой (рис. 3б) значительно ниже по сравнению с бездобавочным составом (рис. 3а).

Коррозионную стойкость бетона определяли на образцах-балочках $4 \times 4 \times 16$ см по методике В.В. Кинда [11]. Коэффициент стойкости K_c вычисляли как отношение величин среднего предела прочности при изгибе образцов-балочек после 120 суток нахождения их в агрессивном растворе к величине среднего предела прочности при изгибе после 120 суток нахождения их в воде. Коэффициент стойкости вычисляли с точностью до 0,01. В качестве агрессивных сред были использованы 20 %-е растворы Na_2SO_4 и NaOH .

Образцы-балочки были изготовлены из равноподвижных растворяемых смесей по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Результаты испытания сульфатостойкости приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние ПФД на сульфатостойкость мелкозернистого бетона

№ п/п	Дозировка ПФД, %	Прочность (МПа) на изгиб после хранения:		Прочность (МПа) на сжатие после хранения:		Коэффициент сульфатостойкости, K_c
		в воде	в растворе Na_2SO_4	в воде	в растворе Na_2SO_4	
1	-	7,4	2,45	50,4	10,7	0,33
2	1,3	8,3	4,67	56,2	38,4	0,56

Видно, что введение в состав бетонной смеси ПФД увеличивает сульфатостойкость бетона почти в 2 раза.

Известно, что стойкость гидратных новообразований портландцемента зависит от вида и концентрации сульфатных сред. Наименее стойким образованием в условиях сульфатных сред является гидроксид кальция. Вступая в обменные реакции с сульфатами, он образует соединения, создающие в цементном камне внутренние напряжения, приводящие к снижению прочности бетона.

Сульфат натрия вступает во взаимодействие с гидроксидом кальция по реакции:

$Na_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NaOH$, при этом образующийся гипс повышает кристаллизационное давление в порах и капиллярах цементного камня.

Далее была изучена щелочестойкость мелкозернистого бетона с ПФД (табл. 5).

Таблица 5

Влияние ПФД на щелочестойкость мелкозернистого бетона

№ п/п	Дозировка ПФД, %	Прочность (МПа) на изгиб после хранения:		Прочность (МПа) на сжатие после хранения:		Коэффициент щелочестойкости, $K_{щ}$
		в воде	в растворе NaOH	в воде	в растворе NaOH	
1	-	7,4	6,9	50,4	45,6	0,93
2	1,3	8,3	9,9	56,2	48,5	1,19

Из табл. 5 видно, что введение в состав бетонной смеси ПФД также увеличивает коэффициент щелочестойкости бетона на 28 %. Это связано с тем, что на щелочестойкость большое влияние оказывает плотность бетона, которая выше у состава с ПФД.

Разработанная добавка ПФД, содержащая соли, не оказывает негативного влияния на долговечность бетона.

Таким образом, добавка ПФД в количестве 1,3 % от массы портландцемента по эксплуатационным свойствам бетона, превосходит все известные комплексные добавки на строительном рынке России.

Список библиографических ссылок

1. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М. : Технопроект, 1998. 768 с.
2. Кашапов Р. Р., Красникова Н. М., Хозин В. Г., Шамсин Д. Р., Галеев А. Ф. Комплексная добавка на основе содосульфатной смеси // Известия КГАСУ. 2015. № 2. С. 239–243.
3. Кашапов Р. Р., Красникова Н. М., Морозов Н. М., Хозин В. Г. Влияние комплексной добавки на твердение цементного камня // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 27–30.

4. Li-kun Q. Study on the strength and deformation of concrete under multiaxial stress after high-temperature of freeze-thaw cycling // Ph. D. thesis. Dalian University of Technology. Liaoning, China. 2003
5. Baalbaki W., Aïtcin P.-C., Ballivy G. On Predicting Modulus of Elasticity in High-Strength Concrete // ACI Materials Journal. 1992. Sept.-oct. P. 517–520.
6. Gardner N. J., Zhao J. W. Creep and Shrinkage Revisited // ACI Materials Journal. 1993. may-june. P. 236–246.
7. Каприелов С. С., Карпенко Н. И., Шейнфельд А. В., Кузнецов Е. Н. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С // Бетон и железобетон. 2003. № 6. С. 8–13.
8. Цилосани З. Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси, 1979. 255 с.
9. Боровских И. В., Морозов Н. М. Повышение долговечности базальтовой фибры в цементных бетонах // Известия КГАСУ. 2012. № 2 (20). С. 160–165.
10. Бабков В. В., Гафурова Э. А., Резвов О. А., Мохов А. В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7. С. 14–22.
11. Колокольников Е. И. Долговечность строительных материалов. М. : Высшая школа. 1975. 159 с.

Kashapov R.R. – head of laboratory

E-mail: ramires120490@mail.ru

Krasnikova N.M. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: knm0104@mail.ru

Khozin V.G. – doctor of technical science, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelyonaya St., 1

Research of exploitative properties of cement-based heavy concretes with polyfunctional additive

Abstract

Problem statement. Evaluation of physical-mechanical and exploitative properties of cement concretes with polyfunctional additive and its comparison with existing analogues are the scopes of present study.

Results. The main results of the research are that the developed admixture with plasticizing-accelerating-strengthening action is not inferior known analogues in its properties to frost resistance and water impermeability in concrete, and also lowers water absorption and exceeds modulus of elasticity, prismatic strength and shrinkage in comparison.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that concretes with the developed additive increase the durability of concrete, namely, corrosion resistance (according to Moskvin II and III type of corrosion, respectively, alkali resistance, sulfate resistance).

Keywords: polyfunctional additive, modulus of elasticity, prismatic strength, shrinkage deformation, durability.

References

1. Batrakov V. G. Modified concrete. Theory and practice. М. : Technoprojekt. 1998. 768 p.
2. Kashapov R. R., Krasnikova N. M., Khozin V. G., Shamin D. R., Galeev A. F. Complex additive on the basis of sodalitates mixture // Izvestiya KGASU. 2015. № 2. P. 239–243.
3. Kashapov R. R., Krasnikova N. M., Morozov N. M., Khozin V. G. Influence of complex additive on the hardening of cement stone // Stroitelnye materialy. 2015. № 5. P. 27–30.

4. Li-kun Q. Study on the strength and deformation of concrete under multiaxial stress after high-temperature of freeze-thaw cycling. Ph. D. thesis. Dalian University of Technology. Liaoning, China. 2003.
5. Baalbaki W., Aïtcin P.-C., Ballivy G. On Predicting Modulus of Elasticity in High – Strength Concrete // *ACI Materialy journal*. 1992. sept.-oct. P. 517–520.
6. Gardner N. J., Zhao J. W. Creep and Shrinkage Revisited // *ACI Materialy journal*, 1993. may-june. P. 236–246.
7. Kapriellov S. S., Karpenko N. A., Seinfeld A. V., Kuznetsov E. N. On the regulation of the modulus of elasticity and creep of high strength concrete with modifier MB-50C // *Beton i zhelezobeton*, 2003, № 6. P. 8–13.
8. Tsilosani Z. N. Shrinkage and creep of concrete. Tbilisi, 1979. 255 p.
9. Borovskikh I. V., Morozov N. M. Increase of durability of basalt fiber cement concretes // *Izvestiya KGASU*, 2012, № 2 (20). P. 160–165.
10. Babkov V. V., Gafurov E. A., Rezvov O. A., Mokhov A. V. Problems of efflorescence exterior walls of buildings on the basis of vibropressed concrete blocks and the ways to protect the walls from efflorescence // *Ingenerno-stroitelnyi journal*. 2012. № 7. P. 14–22.
11. Kolokolnikov E. I. Durability of building materials. M. : Higher school. 1975. 159 p.