

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙ СОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

М.Д. Бутакова, А.В. Михайлов, С.С. Сарибекян

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В статье исследуется влияние кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов.

Приведен литературный обзор общих подходов и технологий, повышающих водонепроницаемость бетонных и железобетонных конструкций.

Получены образцы нормального твердения на основе бетонов, содержащих в своем составе микрокремнезем, аэросил или золу, или их комбинации. Данное исследование направлено на изучение влияния комплексного модификатора на основе метакаолина, суперпластификатора и кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетона.

Указано на необходимость применения суперпластификатора для снижения водоцементного отношения и метакаолина как ускорителя твердения и набора прочности.

Данная статья описывает часть результатов эксперимента, проводимого для поиска альтернативных вариантов кольматирующим дорогостоящим добавкам, используемых при бетонировании фундаментов частного домостроительства. Реализация научной работы не только внесет ясность в данную область, но и расширит знания о такой добавке, как аэросил.

Ключевые слова: метакаолин, комплексный модификатор, микрокремнезем, аэросил, активная минеральная добавка, зола-уноса.

В настоящий момент времени тяжёлый бетон – самый выпускаемый по объёму строительный материал. Он получил такое распространение благодаря способности сохранять свои качества, находясь под влиянием химических сред и воздействием физических нагрузок. В свою очередь, состав и структура искусственного камня слагают его будущий спектр свойств.

Одним из ключевых факторов, влияющих на долговечность подземных и заглубленных частей зданий и сооружений, является воздействие воды. Вода, проникающая внутрь строительных конструкций, вызывает коррозию арматуры и разрушения бетона, что приводит к снижению конструктивных свойств и в итоге вызывает полное разрушение материала. При допущении попадания воды во внутренние помещения подземной части сооружений происходит снижение их эксплуатационных качеств, это приводит к нарушению работы технологического оборудования, ухудшает микроклимат помещений и т. п.

Согласно данным различных исследований, порядка 90 % заглубленных и подземных сооружений имеют проблемы с гидроизоляцией, которые проявляются уже на ранней стадии эксплуатации и приводят к ускоренному износу несущих конструкций.

Большая часть проблем в работе гидроизоляции связана с выбором некачественных или неправильных для данного случая технологических решений. Чтобы снизить риски возникновения этих

проблем необходимо и важно выбирать верные технологические решения по обустройству гидроизоляции, которые способствуют практически полному исключению протечки воды, а также снижают потенциальные расходы на восстановление гидроизоляции. Система гидроизоляции обеспечивает:

- защиту подземной части сооружения от проникновения воды;
- защиту подземных частей сооружений от увлажнения подземными водами;
- возможность эксплуатировать подземные части сооружений с минимальными затратами на их содержание и практически без ограничений;
- защиту системы жизнеобеспечения, инженерного оборудования и коммуникаций;
- устойчивость к воздействию на подземную часть конструкций статических и динамических, подземных и поверхностных вод [1].

Проницаемость бетона – свойство бетона пропускать через себя газы или жидкости при наличии градиента давления (регламентируется маркой по водонепроницаемости W) [2].

Для конструкции фундаментов, гидротехнических сооружений и ряда других одной из главных характеристик является их проницаемость. Это свойство в известной мере определяет способность материала сопротивляться процессам замораживания-оттаивания, увлажнение и высушивания, а также воздействия атмосферы и агрессивных сред. На практике наибольшее значение имеет водонепрони-

цаемость бетона. Проникновение в толщу бетона, согласно исследованиям А.М. Невилля, В.М. Москвина, Ф.М. Иванова, С.Н. Алексеева, Е.А. Гузеева [3, 11], влияет на его долговечность, например, вымывание гидроксида кальция или воздействие агрессивных растворов и сред.

Бетон – это капиллярно пористый материал, неотъемлемой частью которого является сеть тончайших пор и капилляров различных размеров. Мелкие поры (микропоры) размером менее 10^{-5} см практически не проницаемы для воды. В основном это поры цементного геля. Капилляры и макропоры большего размера не препятствуют фильтрации воды, происходящей вследствие давления, осмотического давления или градиентов влажности. Поэтому проницаемость бетона напрямую коррелирует с объемом микропор капилляров в бетоне [4].

Объем макропор в бетоне может составлять от 0 до 40 % от всего объема. Снижение В/Ц, уменьшение воздухововлечения, увеличение степени гидратации цемента, а также введение различных добавок позволяют понижать макропористость [5].

Наглядно демонстрирует зависимость между проницаемостью от водоцементного отношения рис. 1 [6].

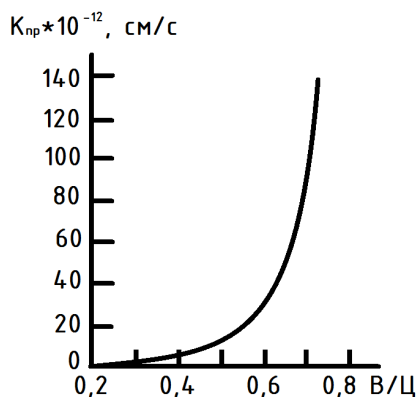


Рис. 1. Зависимость коэффициента проницаемости бетона $K_{пр}$ от В/Ц отношения

В реальных условиях можно проследить существенное отклонение от этих зависимостей, так как процесс создания бетона включает себя много факторов, например, степень уплотнения, которые

могут существенно влияют на проницаемость бетона.

Микрокапилляры, заполненные водой, создают так называемый эффект кольматации пор и капилляров, что снижает проницаемость бетона [1].

С увеличением возраста бетона растёт степень гидратации цемента и, как следствие, уменьшается объём микропор, в результате чего снижается и проницаемость бетона.

На проницаемость бетона также оказывает влияние заполнитель. Чем больше его открытая пористость, тем меньшей водонепроницаемостью будет обладать бетон [3].

Для повышения непроницаемости бетона применяют специальные методы, приведенные в табл. 1.

Применение специальных добавок или веществ в ходе производства бетона – это относительно легкие эффективные мероприятия по увеличению водонепроницаемости. Различного рода ПАВ, водорастворимые смолы, эмульсии (например, битумная), ГКЖ и другие способы, хорошо изучены и проверены временем [9].

Иногда используются тонкокомлотые порошки полимерных веществ или схожих с ними, например, пек [10, 12]. Хорошие показатели по водонепроницаемости получают с применением комплексных добавок или специальных вяжущих, обладающих безусадочными или расширяющимися свойствами.

Пропитка бетона серой, жидким стеклом, парафином, петролатумом позволяет хорошо закольматировать капилляры и поры [13]. Также могут применяться механические методы, например прессование.

Среди применяемых в технологии бетона добавок особое место занимают две большие группы – активные минеральные добавки (АМД) и добавки-пластификаторы. Использование высокоэффективных АМД способствует повышению прочности, стойкости при химической и морозной агрессии и экономии цемента в производстве бетона [17]. По исследованиям Е. Гамалий, Б. Трофимова, Л. Крамар и др. известно, что применение микрокремнезема позволяет получать цементную матрицу с высокой плотностью и водонепроницаемостью, способствует ускорению гидратации клинкерных минералов, приводит к формированию в

Таблица 1

Методы и степень понижения проницаемости бетона

Метод	Степень понижения, раз
Введение в бетонную смесь органических и гидрофобных добавок	2–10
Введение в бетонную смесь неорганических добавок	5–1000
Введение в бетонную смесь загустевающих веществ или термопластичных полимеров	10–500
Пропитка после изготовления специальными веществами	50–1000
Гидрофобизация поверхностных слоев бетона	2–10
Покрывание специальными пленкообразующими составами	10–100
Пропитка мономером с последующей полимеризацией	50–1000

Строительные материалы и изделия

цементном камне стабильных высокопрочных структур из низкоосновных гидросиликатов кальция [7, 14–16].

Влияние введения тонкодисперсных систем, в том числе и микрокремнезема изучались А. Брыковым, М. Воронковым и М. Мокеевым [8].

Однако данный вопрос до конца не изучен и представляет научный интерес.

На основании литературного обзора, была поставлена следующая цель: исследовать влияние добавок микрокремнезема и аэросила на непроницаемость бетона.

Экспериментальные данные

Для предварительных испытаний использовался песчаный бетон состава 1:3 с консистенцией нормальной густоты.

В качестве компонентов вяжущего использовался ЦЕМ II/A – III 42,5Н ООО «Дюкерхофф Коркино цемент», микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината марки МКУ-85, аэросил марки «380» от компании «Evonik Degussa GmbH», суперпластификатор С-3.

Для выполнения поставленной задачи в лабораторных условиях был реализован двухфакторный эксперимент, а варьируемыми факторами были количество АМД (микрокремнезем или аэросил), (фактор X) и суперпластификатора (СП)

(фактор Y). Анализ полученных в ходе опытов результатов включал в себя математическую обработку результатов исследования с целью получения значений полинома второй степени. План-матрицы экспериментов с аэросилом и МКУ и их результаты представлены в табл. 2, 3 и 4, 5 соответственно.

После формования образцы (40×40×160 мм) хранили 28 суток в условиях нормального твердения.

Согласно результатам эксперимента, представленным в табл. 3, очевидно, что введение аэросила в размере 3 % вместо цемента заметно снижает прочность, поэтому для следующих опытов было принято решение использовать замену вяжущего аэросилом на 1,5 %.

Отклики из табл. 5 позволяют сделать однозначный вывод, что наилучшими показателями обладают составы, где заменялось 8 % от массы вяжущего вещества на микрокремнезем. И для дальнейших экспериментов будет применяться именно эта дозировка.

В случаях и с аэросилом, и с микрокремнеземом наименьшие значения нормальной консистенции были получены при введении 1 % суперпластификатора, и данные составы обладали самым низким В/Ц отношением в серии. Как было указано в литературном обзоре данной статьи, чем меньше В/Ц отношение, тем меньше

Таблица 2

План-матрица эксперимента с добавкой аэросила

№ состава	Содержание АМД		Содержание СП	
	Кодовое значение	В %	Кодовое значение	В %
1	-1	0	-1	0,8
2	-1	0	0	0,9
3	-1	0	+1	1
4	0	1,5	-1	0,8
5	0	1,5	0	0,9
6	0	1,5	+1	1
7	+1	3	-1	0,8
8	+1	3	0	0,9
9	+1	3	+1	1

Таблица 3

Результаты эксперимента с добавкой аэросила

№ состава	Нормальная консистенция (НК), %	Прочность при изгибе в различные сроки твердения, МПа			Прочность при сжатии в различные сроки твердения, МПа		
		1	7	28	1	7	28
		1	38,8	2,01	6,10	7,56	10,1
2	37,5	2,35	6,88	7,68	11,2	32,0	49,6
3	36,3	2,89	6,90	8,48	12,8	35,4	58,6
4	45,7	2,28	5,81	6,85	12,0	26,1	37,0
5	43,1	2,75	6,53	7,23	14,1	32,6	39,9
6	43,1	3,79	6,78	7,91	15,9	34,9	41,6
7	58,0	2,63	4,40	5,65	8,4	23,5	29,1
8	54,1	2,75	4,98	5,80	8,8	24,3	30,0
9	52,8	2,83	5,15	5,93	9,9	26,1	33,7

проницаемость бетона, чего и необходимо добиться в ходе данного исследования.

По результатам математического метода планирования были получены регрессионные уравнения следующего вида:

$$Ml(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_{11}x^2 + b_{22}y^2 + b_{12}xy, \quad (1)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – коэффициенты регрессионного уравнения; x, y – варьируемые факторы.

Значения коэффициентов $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ и Фишера (FR) для двухфакторных экспериментов представлены в табл. 6.

Таблица 4

План–матрица эксперимента с добавкой микрокремнезема

№ состава	Содержание АМД		Содержание СП	
	Кодовое значение	В %	Кодовое значение	В %
1	-1	0	-1	0,8
2	-1	0	0	0,9
3	-1	0	+1	1
4	0	4	-1	0,8
5	0	4	0	0,9
6	0	4	+1	1
7	+1	8	-1	0,8
8	+1	8	0	0,9
9	+1	8	+1	1

Таблица 5

Результаты эксперимента с добавкой микрокремнезема

№ состава	Нормальная консистенция, НК %	Прочность при изгибе в различные сроки твердения, МПа			Прочность при сжатии в различные сроки твердения, МПа		
		1	7	28	1	7	28
		1	38,8	2,01	6,10	7,56	10,1
2	37,5	2,35	6,88	7,68	11,2	32,0	49,6
3	36,3	2,89	6,90	8,48	12,8	35,4	58,6
4	45,1	2,12	7,59	9,91	17,1	27,3	50,3
5	44,0	2,43	7,70	10,3	19,2	29,1	51,4
6	42,2	2,59	7,96	10,4	20,0	31,3	54,5
7	48,3	2,57	8,44	10,59	21,4	35,7	57,5
8	47,1	2,73	8,87	10,69	23,1	39,6	63,6
9	45,9	2,81	8,94	11,0	24,5	41,5	64,1

Таблица 6

Значения коэффициентов регрессионных уравнений и Фишера

АМД	Коэффициенты	Значение коэффициентов при определении прочности при изгибе в различные сроки твердения			Значение коэффициентов при определении прочности при сжатии в различные сроки твердения			Значение коэффициентов при определении НК
		1 сут	7 сут	28 сут	1 сут	7 сут	28 сут	
Аэросил	b_0	2,859	6,555	7,223	13,900	31,244	38,767	29,569
	b_1	0,432	0,420	0,377	1,350	2,257	3,700	2,748
	b_2	0,160	-0,892	-1,057	-1,167	-4,150	-10,167	-0,321
	b_{11}	0,122	-0,273	0,160	0,150	-0,067	1,100	0,459
	b_{12}	-0,170	-0,013	-0,160	-0,300	-0,350	-2,100	-0,250
	b_{22}	-0,363	-0,638	-0,480	-3,800	-2,417	1,600	-1,043
	FR	98,603	6,958	31,848	3,352	41,394	26,209	34,719
МКУ	b_0	2,383	7,858	10,137	18,889	29,100	51,911	28,006
	b_1	0,265	0,278	0,303	1,450	2,300	3,967	4,412
	b_2	0,143	1,062	1,427	5,817	3,000	5,233	4,501
	b_{11}	-0,005	-0,162	0,100	-0,183	0,200	0,233	-0,067
	b_{22}	-0,160	-0,075	-0,128	0,100	0,450	-1,600	-0,281
	b_{12}	0,180	-0,062	-0,870	-1,583	6,700	4,433	5,524
	FR	4,038	27,279	25,326	0,775	6,257	58,298	14,105

Строительные материалы и изделия

Проанализировав результаты предварительных экспериментов, было принято решение, что для исследований водонепроницаемости бетонов будут применены следующие дозировки компонентов: аэросил – 0,2, 0,8 и 1,5 %, микрокремнезем – 6 и 8 %, суперпластификатор С-3 – 1 %. Дополнительные составы с дозировками аэросила по величине 0,2 и 0,8 % от массы цемента были введены с целью исследования области дозировок добавки аэросила меньших 1,5 %. А также дополнительно были применены метакаолин (МТК) фирмы «Пласт Рифей» и зола-уноса от сжигания угля на Рефтинской ГРЭС. Их дозировки в размере 2,5 и 6 % соответственно были взяты согласно исследованиям, проведенным на кафедре «Строительные материалы» ЮУрГУ г. Челябинска А.А. Кирсановой и др. исследователями.

Решение применить метакаолин обосновывается тем, что в масштабах всей работы исследование затрагивает проблемы бетонирования фундаментов частного домостроительства, где строительный период короток, особенно в условиях Сибири и Урала. А применение золы-уноса в небольших дозировках позволит снизить стоимость бетонной смеси. Запроектированные составы представлены в табл. 7.

На исследуемых составах были получены отклики по прочностям и водонепроницаемости и сведены в табл. 8.

Согласно полученным данным, представленным в табл. 8, оптимальные результаты по показателям прочности при сжатии и водонепроницаемости были получены на составе № 1. Что еще раз подтверждает проведенные ранее исследования по применению микрокремнезема в бетоне как модификатора его структуры и доказывает, что введение

в состав бетона микрокремнезема приводит к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция слоистой структуры, увеличивающих водонепроницаемость и другие свойства материала. Состав № 5 был взят из литературных источников и приведен для сравнения [7].

Согласно результатам проведенных опытов на составах под номерами 2, 3 и 4 с добавкой аэросила, можно сделать вывод, что аэросил не вступает во взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ бетона, то есть не образует соединения подобно тем, что получаются при взаимодействии микрокремнезема с $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Это означает, что повышение водонепроницаемости с увеличением дозировки аэросила происходит лишь благодаря уплотнению самой структуры бетона путем коагуляции пор. Эту позицию доказывают результаты дериватографического (ДТ) анализа, представленные на рис. 2 и 3.

Выводы

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что уплотнение структуры и увеличение водонепроницаемости бетона путём введения микрокремнезема или микрокремнезема с золой эффективно и целесообразно. А применение аэросила для получения аналогичных свойств по водонепроницаемости не обосновано, так как его цена заметно выше, чем у составов с микрокремнеземом и золой. А также гидросиликаты, образуемые в ходе взаимодействия МКУ с гидроксидом кальция, более долговечны и устойчивы благодаря своей низкой основности и аморфной слабозакристаллизованной структуре. Поэтому данные составы могут быть рекомендованы для бетонирования фундаментов частного домостроения.

Составы применяемых бетонных смесей на 1 м³

Таблица 7

№ состава	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, кг	С-3, кг	МКУ, кг	Аэросил, кг	Зола, кг	МТК, кг
1	322	850	1150	136	3,5	28	0	0	8,05
2	344,75	850	1150	136	3,5	0	5,25	0	8,05
3	347,2	850	1150	136	3,5	0	2,8	0	8,05
4	349,3	850	1150	136	3,5	0	0,7	0	8,05
5	308	850	1150	136	3,5	21	0	21	8,05
6	350	850	1150	136	3,5	0	0	0	8,05

Значения пределов прочности и водонепроницаемости

Таблица 8

№ состава	Прочность при сжатии в различные сроки твердения, МПа				Водонепроницаемость, по классу W
	1 сутки	3 сутки	7 сутки	28 сутки	
1	18,94	30,00	27,87	61,28	16
2	12,13	21,29	31,09	47,42	18
3	24,24	29,11	34,60	42,48	14
4	24,07	28,24	34,26	44,95	10
5	17,44	23,82	32,79	49,47	20
6	22,81	27,15	31,03	40,49	4

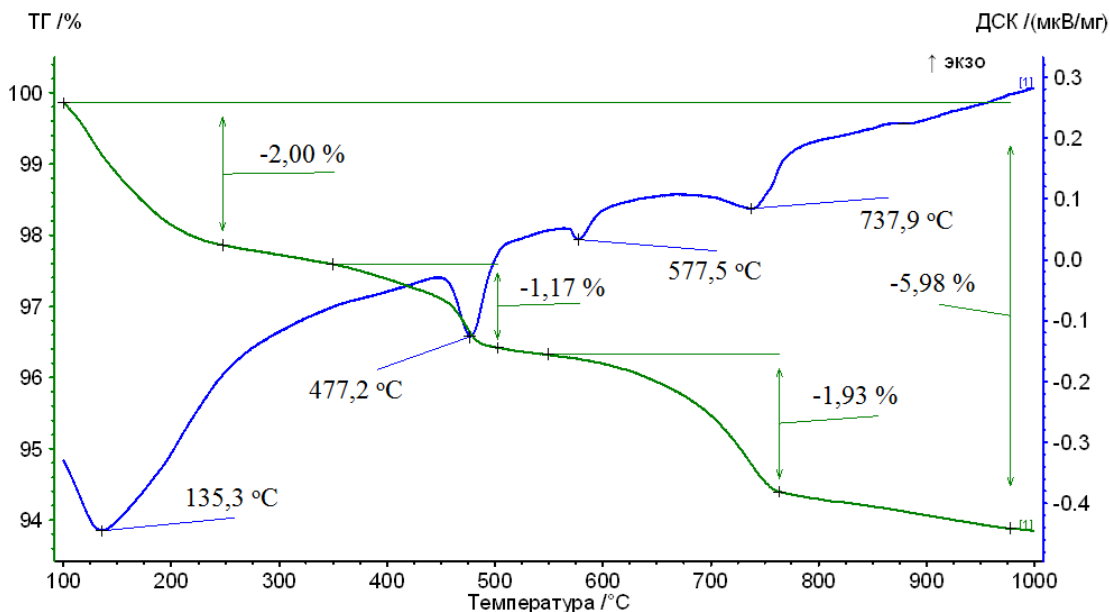


Рис. 2. ДТ анализ состава № 2

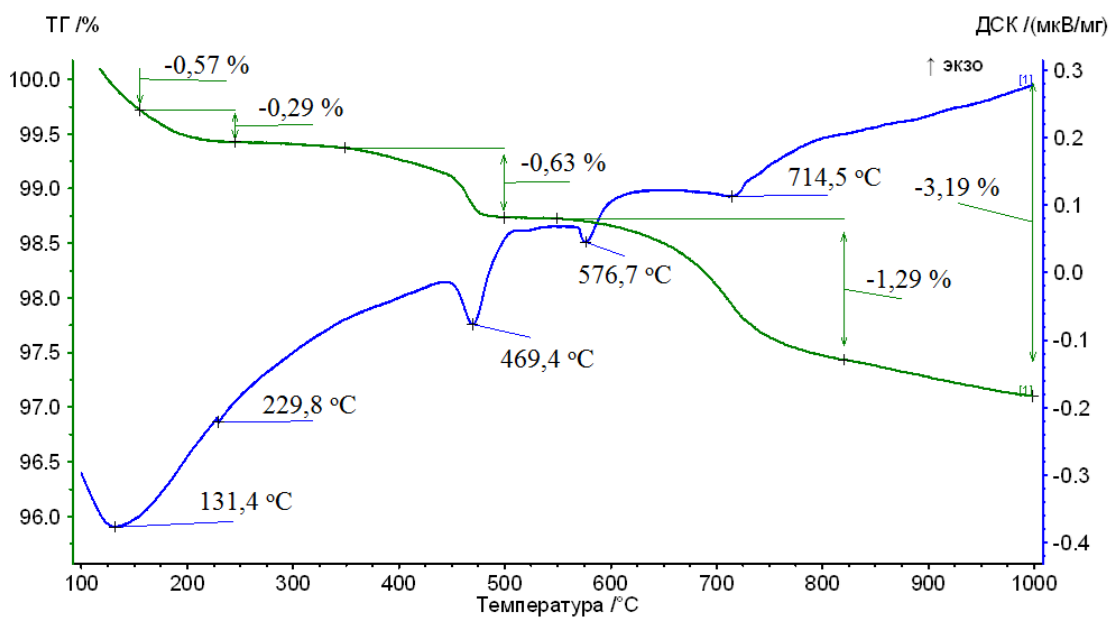


Рис. 3. ДТ анализ состава № 4

Литература

1. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 507 с.
2. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 19 с.
3. Невилль, А.М. Свойства бетона / А.М. Невилль – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 344 с.
4. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона: моногр. / В.С. Изотов – М.:

Казан. гос. архит.-строит. ун-т: Изд-во «Палеотип», 2006. – 109 с.

5. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.

6. Lea, F.M. The Chemistry of Cement and Concrete / F.M. Lea. – New York: Chemical Publishing Company Inc, 1971. – 397 p.

7. Гамалий, Е.А. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора / Е.А. Гамалий, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // Вестник

ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2009. – Вып. 10, № 5. – С. 29–35.

8. Brykov, A. *Ultrafine silica additives behavior during alkali-silica reaction long-term expansion test* / A. Brykov, M. Voronkov, M. Mokeev // *Materials Sciences and Applications*. – 2014. – V. 72, № 5. – P. 66–72.

9. Вавржин, Ф. *Химические добавки в строительстве* / Ф. Вавржин, Р. Крчма. – М.: Стройиздат, 1964. – 288 с.

10. Изотов, В.С. *Химические добавки для модификации бетона: моногр.* / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Казан. гос. архит.-строит. ун-т: Изд-во «Палеотип», 2006. – 244 с.

11. Москвин, В.М. *Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты* / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гусев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

12. Баженев, Ю.М. *Бетонополимеры* / Ю.М. Баженев. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.

13. Волгушев, А.Н. *Применение серы для про-*

питки поровой структуры строительных материалов / А.Н. Волгушев, В.В. Патуров // *Бетон и железобетон*. – 1976. – № 11. – С. 38–39.

14. Политаева, А.И. *Роль микрокремнезема в структурообразовании цементной матрицы и формировании высолов в вибропрессованных изделиях* / А.И. Политаева, Г.И. Яковлев, И. Гавранек // *Строительные материалы*. – 2015. – № 2. – С. 49–55.

15. Quercia, G. *Characterization of morphology and texture of several amorphous nano-silica particles used in concrete* / G. Quercia, A. Lazaro, J.W. Geus // *Cement&Concrete Composites*. – 2013. – V. 44. – P. 77–92.

16. Pengkun, Hou. *Effects of the pozzolanic reactivity of nano SiO₂ on cement-based materials* / Hou Pengkun, Qian Jueshi, Cheng Xin // *Cement & Concrete Composites*. – 2015. – V. 55. – P. 250–258.

17. Singh, L.P. *Beneficial role of nanosilica in cement based materials* / L.P. Singh, S.R. Karade, S.K. Bhattacharyya // *Construction and Building Materials*. – 2013. – V. 47. – P. 1069–1077.

Бутакова Марина Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), marinabutakova@yandex.ru

Михайлов Александр Владимирович, студент архитектурно-строительного института, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), mihailovw94@mail.ru

Сарибекян Севак Сейранович, студент архитектурно-строительного института, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), sss174ru@mail.ru

Поступила в редакцию 7 марта 2017 г.

DOI: 10.14529/build170205

INFLUENCE OF SILICON-CONTAINING ADDITIVES ON THE PROPERTY OF THE WATERTIGHTNESS OF CONCRETE SAMPLES

M.D. Butakova, marinabutakova@yandex.ru

A.V. Mikhailov, mihailovw94@mail.ru

S.S. Saribekyan, sss174ru@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article examines the influence of silicon-containing additives on the property of watertightness of concrete samples.

A literature review of common approaches and technologies improving the watertightness of concrete and reinforced concrete structures is given.

Samples of normal hardening are obtained based on the concretes containing microsilica, aerosil or ash, or their combinations. This research is aimed at examining the influence of complex modifying agent comprised of metakaolin, superplasticizer and silicon-containing additives on the property of concrete watertightness.

The necessity of using superplasticizers for the decrease in water-cement ratio and metakaolin as an early-strength admixture and hardener is shown.

This article describes a part of the results of an experiment conducted to find alternative options for expensive illuvial additives used in concreting the foundations of private house-building. The implementation of scientific work will help clarify the matter and expand knowledge about such an additive as aerosil.

Keywords: metakaolin, complex modifying agent, microsilica, aerosil, active mineral admixture, flue ash.

References

1. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betonov XXI veka. Novye nauchnye napravleniya stroitel'nogo materialovedeniya: materialy dokladov akademicheskikh chteniy RAASN* [Technology of Concrete of the XXI Century. New Scientific Directions of Building Materials Science: Materials of Reports of Academic Readings of RAASN]. Belgorod, BG TU im. V.G. Shukhova Publ., 2005. 507 p.
2. GOST 24211–2003. [Admix for Concrete and Building Mortar. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2004. (in Russ.).
3. Nevill' A. M. *Svoystva betona* [Properties of Concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972. 343 p.
4. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. *Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona* [Chemical Admix for Concrete Modification]. Moscow, Paleotip Publ., 2006. 109 p.
5. Ramachandran V.S., Fel'dman R.F., Kolleparidi M. *Dobavki v beton: Spravochnoe posobie* [Admix in Concrete: A Reference Book]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 575 p.
6. Lea F.M. [The Chemistry of Cement and Concrete]. New York Chemical Publishing Company. 1971. 397 p.
7. Gamaliy E.A., Trofimov B.Ya., Kramar L.Ya. [Structure and Properties of Cement Stone with Additives of Microsilica and Polycarboxylate Plasticizer]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2009, no. 16, pp. 29–35.
8. Brykov A., Voronkov M., Mokeev M. [Ultrafine Silica Additives Behavior During Alkali-Silica Reaction Long-Term Expansion Test. Materials Sciences and Applications]. 2014. no. 5, pp. 66–72.
9. Vavrzhin F., Krehma R. *Khimicheskie dobavki v stroitel'stve* [Chemical Admix in Construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1964. 288 p.
10. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. *Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona: monografiya* [Chemical Admix for Concrete Modification: Monograph]. Moscow, Paleotip Publ., 2006. 244 p.
11. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity* [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete, Methods of Their Protection]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 536 p.
12. Bazhenov Yu.M. *Betonopolimery* [Polymer-Impregnated Concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983, 472 p.
13. Volgushev A.N., Paturoev V.V. [The Use of Sulfur for Impregnating the Pore Structure of Building Materials]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1976, no. 11, pp. 38–39.
14. Politaeva A.I., Yakovlev G.I., Irzhi Gavranek [The Role of Microsilica in the Structure Formation of the Cement Matrix and the Formation of Efflorescence in Vibropressed Products]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2015, no. 2, pp. 49–55.
15. Quercia G., Lazaro A., Geus J.W., Brouwers H.J.H. [Characterization of Morphology and Texture of Several Amorphous Nano-Silica Particles Used in Concrete]. *Cement and Concrete Composites*, 2013. vol. 44, pp. 77–92.
16. Pengkun Hou, Jueshi Qian, Xin Cheng, Surendra P. Shah. [Effects of the Pozzolanic Reactivity of Nano SiO₂ on Cement-Based Materials]. *Cement and Concrete Composites*, 2015. vol. 55, pp. 250–258.
17. Singh L.P., Karade S.R., Bhattacharyya S.K., Yousuf M.M., Ahalawat S. Beneficial Role of Nanosilica in Cement Based Materials. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 47, pp. 1069–1077.

Received 7 March 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Бутовава, М.Д. Влияние кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов / М.Д. Бутовава, А.В. Михайлов, С.С. Сарибекия // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 34–41. DOI: 10.14529/build170205

FOR CITATION

Butakova M.D., Mikhailov A.V., Saribekyan S.S. Influence of Silicon-Containing Additives on the Property of the Watertightness of Concrete Samples. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 34–41 (in Russ.). DOI: 10.14529/build170205