

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МЕТАКАОЛИНА НА СУЛЬФАТОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

А.А. Курсанова

Исследованы особенности влияния комплексных добавок, включающих метаксаолин, на структуру и свойства бетона. Выявлено, что наиболее эффективное влияние на свойства бетона и его стойкость к сульфатной коррозии оказывают комплексные добавки, включающие микрокремнезем, метаксаолин и суперпластификатор СП-1.

Ключевые слова: метаксаолин, микрокремнезем, долговечность, сульфатостойкость, сульфатная коррозия.

Современная промышленность строительных материалов в связи с ухудшением экологической обстановки, освоением районов с агрессивными грунтовыми водами и повсеместным применением бетонных изделий на предприятиях, активно расширяет использование специальных добавок, модифицирующих структуру, повышающих физико-механические характеристики и долговечность бетонов [1].

Наиболее агрессивным видом коррозии бетона является сульфатная [2]. Стойкость к сульфатной агрессии бетона напрямую зависит от его плотности, наличия и вида пористости, а также состава гидратных фаз. Таким образом, целью настоящего исследования стало изучение особенностей

влияния комплексных добавок на основе метакаолина (далее МТК) на получение бетона с высокой прочностью и сульфатостойкостью.

В работе использовали МТК производства ЗАО «Пласт-Рифей», гранулированный микрокремнезем (далее МК) (г. Новокузнецк), суперпластификатор СП-1 производства ОАО «Полипласт» (г. Новомосковск), цемент Цем I 42,5Н ОАО «Невьянский цементник», а также заполнители – песок с МК 1,8 Белоносковского месторождения и щебень фракции 5–20 мм производства завода ПКО «ЧелСИ».

Для испытаний сульфатостойкости бетона были подготовлены 6 составов, отличающихся применяемыми добавками: 1) бездобавочный; 2) с добавкой 5 % МТК; 3) с добавкой «2,5 % МТК + 0,6 % СП-1»; 4) с добавкой «2,5 % МТК + 5 % МК + 0,6 % СП-1»; 5) с добавкой «2,5 % МТК + 5 % МК + 1,2 % СП-1»; 6) с добавкой «2,5 % МТК + 10 % МК + 1,2 % СП-1». В работе каждый состав включал контрольные и основные цементно-песчаные образцы при соотношении Ц:П=1:3 с размером 20х20х120 мм согласно ГОСТ [3].

Контрольные образцы твердели в воде при температуре 20 ± 2 °С и использовались для сравнения с образцами, хранящимися в сульфатном растворе. Для исследования был принят сульфатный раствор с концентрацией 10 г/л и отношением V раствора/ V образца = 5/1. Испытания образцов бетона проводили в 3, 6, 9 и 12 месяцев. Стойкость к сульфатной агрессии оценивали по изменению массы и прочности при сжатии и изгибе. Изменение массы образцов должно быть не более ± 1 %, в противном случае состав является нестойким к действию сульфатной среды, независимо от результатов механических испытаний [3].

При определении сульфатостойкости цементно-песчаных образцов по изменению прочности рассчитывали коэффициент химической стойкости ($K_{х.с.}$), согласно ГОСТ $K_{х.с.}$ должен быть не менее 0,9 [3].

Полученные результаты, представленные в табл., показали, что прочность всех образцов, хранившихся в воде, кроме состава, включающего 5 % МТК, возрастает. Состав с 5 % МТК имел некоторое снижение прочности как на сжатие, так и на изгиб, по истечении 3 месяцев хранения в воде, что связано с перекристаллизацией метастабильных гидроалюминатных фаз и повышением открытой пористости камня.

Контрольный состав бетона к 3 месяцам выдержки в сульфатном растворе имеет значительные изменения массы до 2,6 %. Несмотря на это, $K_{х.с.}$ только к 6 месяцам становится менее 0,9. Все это говорит о низкой стойкости бездобавочного бетона к воздействиям сульфатов (табл.). Введение в цемент 5 % МТК не способствует изменению сульфатостойкости бетона, так как потеря массы и изменение $K_{х.с.}$ протекают идентично бездобавочному составу. Применение комплексной добавки «2,5 % МТК+0,6 % СП-1» несколько повышает сульфатостойкость бетона, по сравнению с бездоба-

вочным составом. Но бетон с такой добавкой нельзя отнести к сульфатостойкому, так как изменение массы и снижение $K_{х.с.}$ происходит к 9 месяцам выдержки в сульфатном растворе (табл.). Введение комплексных добавок, включающих МК, способствует формированию бетона, стойкого к воздействию сульфатной агрессии. В течение всего времени испытаний изменение массы и прочности образцов не зафиксировано.

Таблица

Влияние добавок на стойкость к сульфатной коррозии

№	Составы	Свойства						
		Прочность, МПа				Изменение массы Δm , %	$K_{х.с.}$ при изгибе	$K_{х.с.}$ при сжатии
		в воде		в сульф.				
		$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$			
1	Контрольный состав	28 суток						
		4	26,7	–	–	–	–	–
		3 месяца						
		4,15	27,8	3,75	27,5	-2,6	0,90	0,99
		6 месяцев						
		4,2	28,5	3,65	23,94	+2,86	0,87	0,84
		9 месяцев						
		4,25	29,3	3,65	21,68	-2,9	0,86	0,74
2	5 % МТК	28 суток						
		3,46	24,1	–	–	–	–	–
		3 месяца						
		2,90	30	2,81	29,4	-2,6	0,97	0,98
		6 месяцев						
		3	29	2,58	25,2	-3,35	0,86	0,87
		9 месяцев						
		3,10	28,3	2,63	19,2	-3,6	0,85	0,68
3	2,5 % МТК+0,6 % СП-1	28 суток						
		4,60	30,5	–	–	–	–	–
		3 месяца						
		4,65	31,7	4,56	31,1	-	0,98	0,98
		6 месяцев						
		4,70	32,3	4,51	31,6	-	0,96	0,98
		9 месяцев						
		4,74	32,8	4,1	28,5	-1,7	0,87	0,87
4	2,5 % МТК+5 % МК+0,6 % СП-1	28 суток						
		4,66	33,6	–	–	–	–	–
		3 месяца						

Окончание табл.

		4,75	34,7	4,70	34,3	–	0,99	0,99
		6 месяцев						
		4,8	35,4	4,66	34	–	0,97	0,96
		9 месяцев						
		4,8	36,7	4,65	34,5	–	0,97	0,94
		12 месяцев						
		4,9	37	4,7	34,4	–	0,96	0,93
5	2,5 % МТК+5 % МК +1,2 % СП-1	28 суток						
		4,9	50,5	–	–	–	–	–
		3 месяца						
		5,1	51	5	50,4	–	0,98	0,99
		6 месяцев						
		5,3	51,5	5,2	50,5	–	0,98	0,98
		9 месяцев						
		5,35	52	5,3	51	–	0,99	0,98
		12 месяцев						
		5,4	53	5,3	51,4	–	0,98	0,97
6	2,5 % МТК+10 % МК +1,2 % СП-1	28 суток						
		4,97	45,1	–	–	–	–	–
		3 месяца						
		5,2	45,7	5,15	45,2	–	0,99	0,99
		6 месяцев						
		5,3	46	5,24	45,5	–	0,99	0,99
		9 месяцев						
		6,0	47,2	5,94	46,7	–	0,99	0,99
12 месяцев								
		6,4	48,5	6,3	47,5	–	0,99	0,98

Таким образом, применение комплексных добавок, включающих 5–10 % МК, 2,5 % МТК и 0,6–1,2 % СП-1, приводит к формированию стабильной структуры, преимущественно состоящей из низкоосновных гидросиликатов кальция (ГСК), которые защищают оставшийся портландит и гидроалюминатные фазы от воздействия сульфатов.

Фазовый анализ исследуемых образцов цементно-песчаного камня позволил более точно установить механизм разрушения камня при воздействии сульфатов. В образцах бездобавочного состава и с 5 % МТК, к 3 месяцам хранения в сульфатном растворе наблюдается активное снижение $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что говорит о протекании коррозионных процессов. Как известно, первыми во взаимодействие с сульфат-ионами вступает свободный $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроалюминатные фазы [4]. Применение высоких дозировок МТК приводит к увеличению в цементном камне нестабильных гидроалюминатов и к более интенсивным потерям $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (рис. 1). Комплекс «2,5 % МТК+0,6 % СП-1» к 3 месяцам не подвергается сульфатной корро-

зии. Применение комплексных добавок с МК способствует более интенсивному связыванию свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в раннем возрасте и образованию низкоосновных ГСК, повышая стойкость к сульфатной коррозии (рис. 1). К 12 месяцам выдержки в сульфатном растворе все составы без МК не являются устойчивыми к воздействию сульфатов (рис. 1).

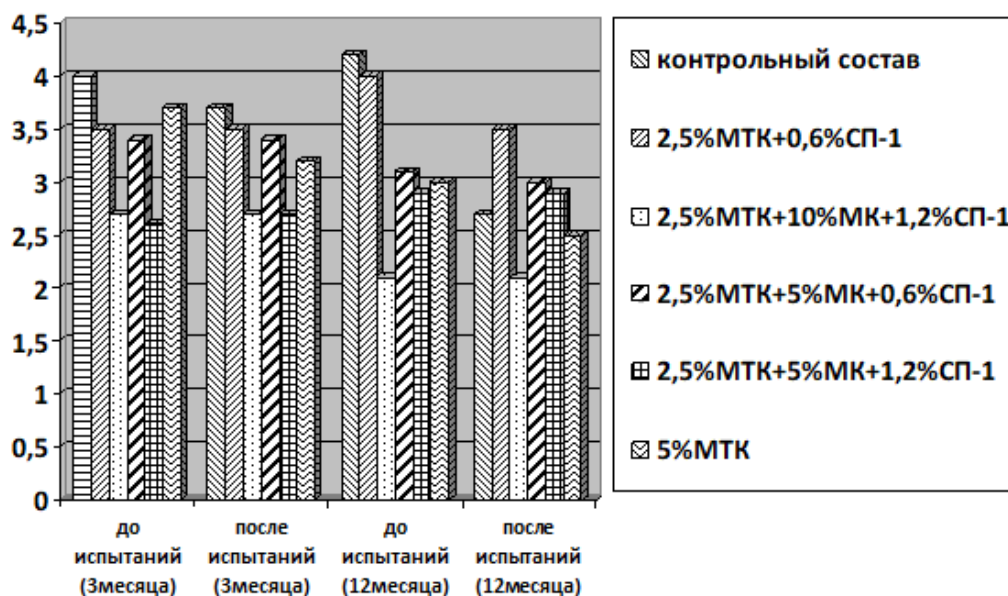


Рис. 1. Изменение содержания гидроксида кальция в цементно-песчаных образцах при испытании на сульфатостойкость

Результаты изменения содержания химически связанной воды в цементном камне бетона при воздействии сульфатов позволяют сделать вывод, что применение комплекса с 10 % МК способствует формированию сульфатостойкой структуры, тогда как применение 5 % МК недостаточно для надежной защиты камня на более длительный период (рис. 2), что подтверждают результаты, полученные ранее.

Рентгенофазовый анализ (РФА) бездобавочного состава после 3 месяцев воздействия сульфатов позволил установить присутствие этtringита и гипса. Образование в цементном камне бетона продуктов коррозии сопровождается снижением содержания свободного гидроксида кальция и увеличением химически связанной воды (рис. 2, 3).

В бетоне с добавкой 5 % МТК к 3 месяцам хранения в сульфатном растворе отмечено одновременное образование этtringита и гипса (рис. 4) в результате низкой сульфатостойкости исследуемого бетона.

При этом к 3 месяцам в образцах бездобавочного состава и с 5 % МТК, не происходит снижение прочности бетона вследствие того, что алюминатные фазы, вступая во взаимодействие с сульфатами, заполняют поровое пространство поверхностного слоя продуктами коррозии и несколько ее уплотняют, в результате скорость коррозии замедляется.

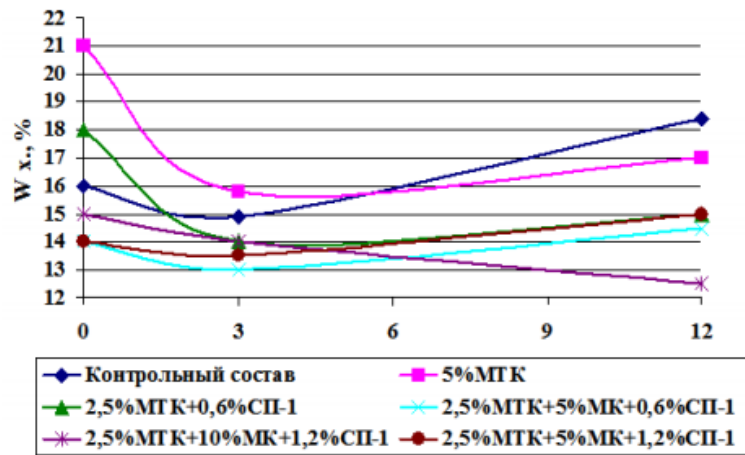


Рис. 2. Изменение химически связанной воды в цементно-песчаных образцах при испытании на сульфатостойкость

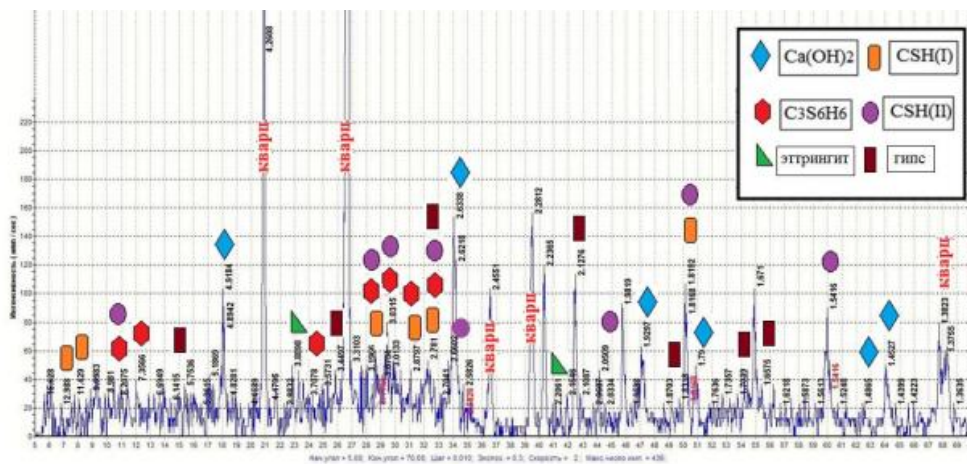


Рис. 3. РФА цементно-песчаного камня без добавки после 3 мес. хранения в сульфатном растворе

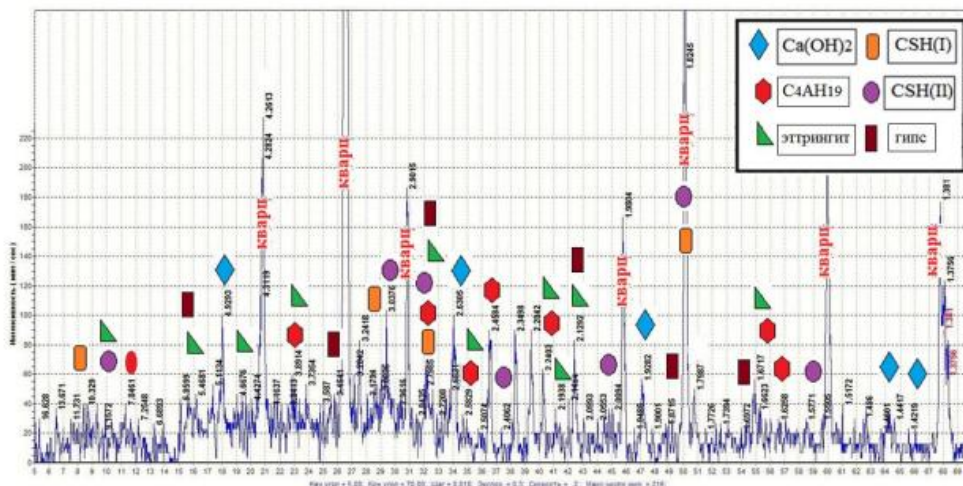


Рис. 4. РФА цементно-песчаного камня с 5 % МТК после 3 месяцев хранения в сульфатном растворе

Снижение дозировки МТК до 2,5 % и совместное его применение с СП приводит к большему уплотнению структуры за счет снижения В/Ц и ускорения гидратационных процессов. Этрингит появляется лишь к 9 месяцам хранения образцов в сульфатах. Образование гипса зафиксировано не было (рис. 5). В случае применения добавки «2,5 % МТК+ 5 % МК+0,6 % СП-1» этрингит образуется в порах лишь к 12 месяцам выдержки в сульфатном растворе (рис. 6). Повышение в комплексе дозировки СП-1 до 1,2 % и МК до 10 % приводит к исчезновению на рентгенограммах пиков этрингита, что связано с формированием плотной структуры камня, состоящих из низкоосновных ГСК и стабильных алюминатных фаз (рис. 7, 8).

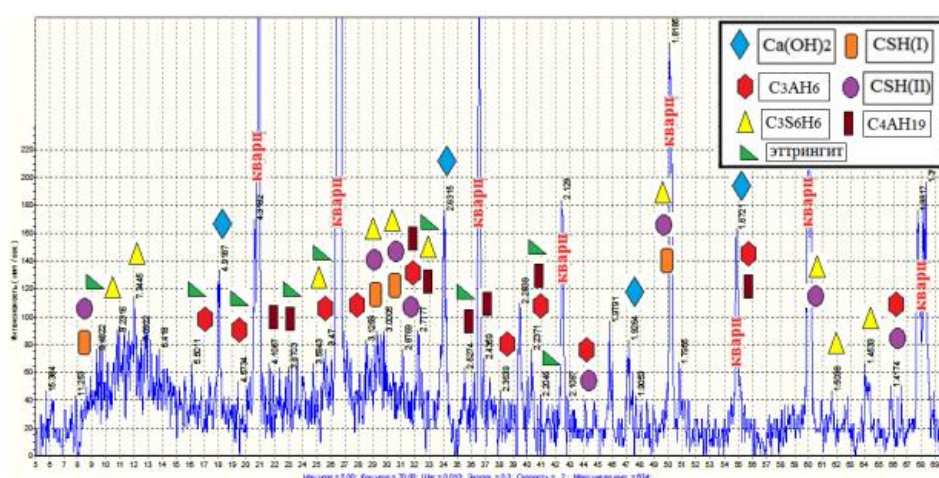


Рис. 5. РФА цементно-песчаного камня с добавкой «2,5 % МТК+0,6 % СП-1» после 9 месяцев хранения

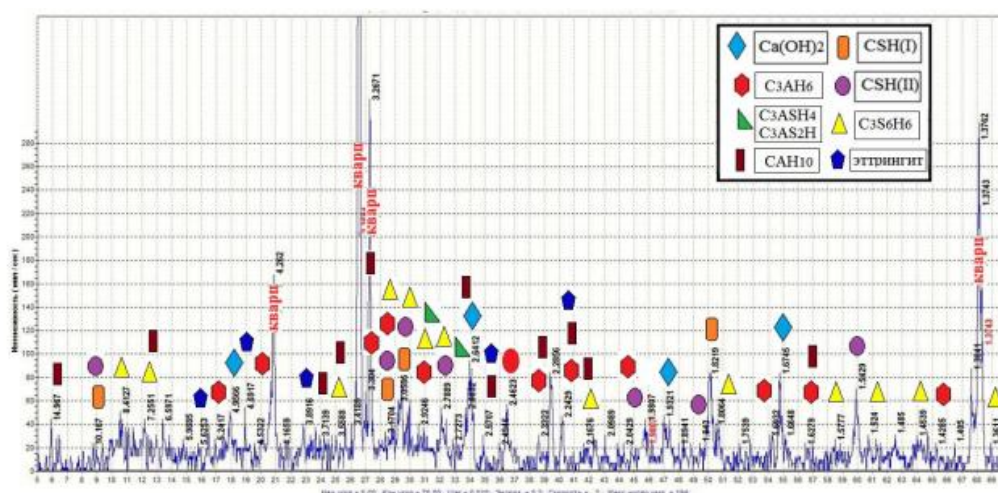


Рис. 6. РФА цементно-песчаного камня с добавкой «2,5 % МТК+5 % МК+0,6 % СП-1» после 12 месяцев хранения

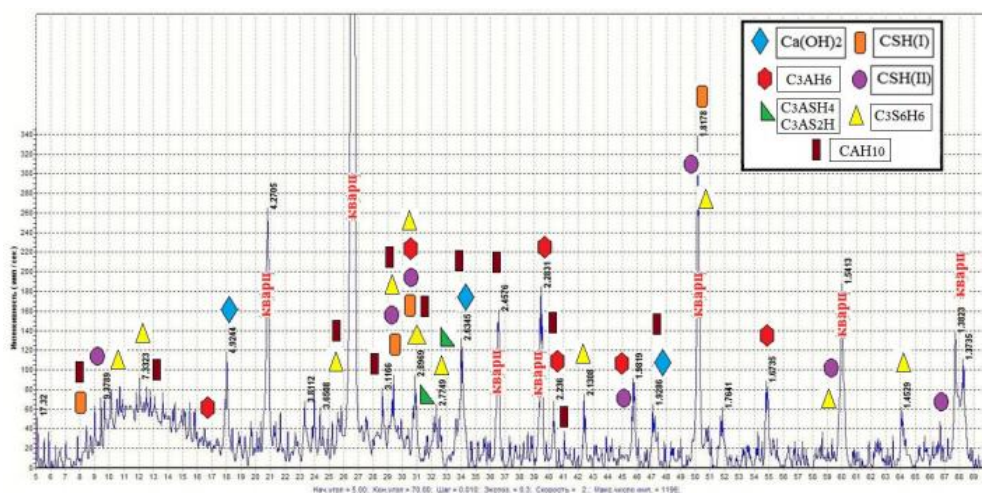


Рис. 7. РФА цементно-песчаного камня с добавкой «2,5 % МТК+5 % МК+1,2 % СП-1» после 12 месяцев хранения

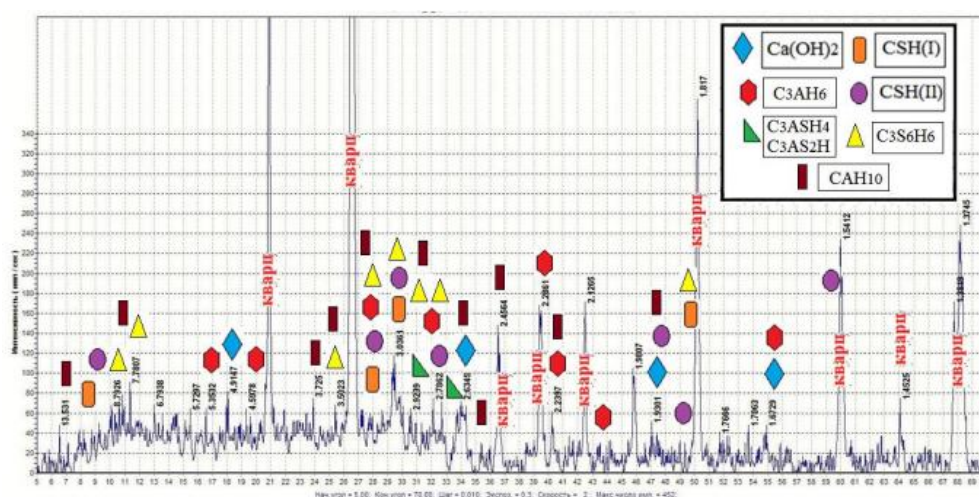


Рис. 8. РФА цементно-песчаного камня с добавкой «2,5 % МТК+10 % МК+1,2 % СП-1» после 12 месяцев хранения

Заключение. По результатам исследований можно сделать вывод, что самыми эффективными добавками, обеспечивающими стойкость к сульфатной коррозии бетона на портландцементных, являются комплексные добавки, включающие метакраолин 2,5...3,5 % в расчете на массу цемента, микрокремнезем 5...10 % и суперпластификатор 0,6...1,2 %. Применение комплексов обеспечивает рядовым цементам высокую стойкость к сульфатной агрессии, что связано с формированием плотной и водонепроницаемой структуры бетона, состоящей преимущественно из низкоосновных фаз, стойких к воздействию сульфатов. Использование МТК приводит к снижению сульфатостойкости бетона за счет дополнительного введения алюминатов и формированию метастабильных гидроалюминатных фаз, склонных к перекристаллизации в условиях изменения рН среды.

Библиографический список

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. ГОСТ 27677-88. Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 4 с.
4. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 343 с.

[К содержанию](#)