

МОБИЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В методологии исследования важное место занимают методы, опирающиеся на выделение и рассмотрение тех или иных объектов как систем. Система - это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность, единство. Этот подход является обоснованным при рассмотрении строительных технологических систем, так как они состоят из множества элементов, взаимодействующих в процессе функционирования.

Строительная технологическая система - это структура, которая участвует в выполнении работ по возведению или реконструкции объекта и обеспечивает строго установленные технологии, гарантирующие качество конечного продукта.

Возрастающая *взаимозависимость системы и среды*, требует от системы таких характеристик, которые позволяют при формировании и проявлении системой своих свойств, в процессе взаимодействия со средой, являться ведущим активным компонентом взаимодействия.

Таким свойством является мобильность. Оно характеризует способность элементов системы к перемещению с одной строительной площадки на другую с необходимой скоростью и функционированию с определенной интенсивностью. Цель развития свойства - обеспечение выполнения фронта работ в различных средах. Условия развития свойства - уровень развития элементов системы, позволяющий рассматривать изменение внешней среды не как возмущающий фактор, а как текущие условия функционирования.

Мобильность технологических систем обеспечивается развитием технических и трудовых ресурсов как элементов системы. Технические ресурсы должны включать в себя машины, оборудование, механизмы, инвентарь, обладающие транспортабельностью, определенной мощностью, вместимостью, необходимыми конструктивными решениями. Трудовые ресурсы должны характеризоваться необходимой квалификацией, трудовой и творческой активностью, высоким уровнем трудовой дисциплины.

Мобильные технологические системы смогут обеспечить:

- ◆ Применение современных объемно-планировочных решений, востребованных на рынках других государств.
- ◆ Использование в большем объеме производственных мощностей.
- ◆ Повышение конкурентоспособности, что связано со способностью функционировать в районах, удаленных от их постоянной дислокации.

Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Пригоженко О.В.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ СЕРИИ «МБ»

1. Введение

Появившийся недавно на строительном рынке модификатор МБ-01 оказался эффективным средством получения высокопрочных бетонов [1,2]. Известно, что модификатор – органо-минеральная композиция, включающая микрокремнезем (МК), суперпластификатор (СП) и регулятор твердения (РТ) [1].

В связи с тем, что основной компонент МБ-01. – микрокремнезем является сравнительно дорогим и дефицитным материалом, возникла необходимость частичного его замещения более доступным активным микронаполнителем, в частности, золой-уноса (ЗУ), при обеспечении таких же высоких эффектов в бетоне. В процессе решения этой задачи организовано производство новых разновидностей органо-минерального модификатора (марок МБ-30С, МБ-50С, МБ-100С по ТУ 5743-083-46854090-98), в которых до 90% МК замещено кислой золой-уноса [3]. Для определения оптимальных областей применения каждого из модификаторов этой серии важно оценить их эффективность по влиянию на основные параметры структуры цементного камня, а также прочность, проницаемость и морозостойкость бетона.

2. План эксперимента

Исследовалось влияние модификаторов с разным соотношением МК:ЗУ на:

- гидратацию цемента и фазовый состав цементного камня;
- пористость и кинетику твердения высокопрочного мелкозернистого бетона;
- прочность, проницаемость и морозостойкость тяжелого бетона.

Использованы четыре разновидности модификаторов: МБ 10-01, МБ 10-30С, МБ 10-50С, МБ 10-100С, которые производятся Предприятием Мастер Бетон. Это – композиционные материалы, минеральная часть которых включает в себя МК или смесь МК и ЗУ в разном соотношении, а органическая представлена СП на основе натриевой соли поликонденсата β-нафталинсульфоуксусной кислоты и формальдегида и регулятором твердения (РТ) – фосфоорганическим комплексом. Соотношение между минеральной и органической частью выбранных образцов модификаторов было одинаковым и равнялось 9:1. Однако состав их минеральной части был различным: в первом она состояла только из МК (100%), во втором, третьем и четвертом – из смеси МК и ЗУ в соотношениях 70:30, 50:50 и 10:90, соответственно. В табл.1 приведены составы и основные свойства модификаторов.

Таблица 1.

Состав и свойства органо-минеральных модификаторов

Марка модификатора	Компоненты модификатора, мас.%				Содержание SiO ₂ , %	Средний размер гранул, мкм	Насыпная плотность, кг/м ³
	минеральная часть		органическая часть				
	МК	ЗУ	СП	РТ			
МБ 10-01	90,000	–	9,99	0,01	80,1	100	750
МБ 10-30С	63,000	27,000	9,99	0,01	70,8	70	765
МБ 10-50С	45,000	45,000	9,99	0,01	64,6	50	775
МБ 10-100С	8,182	81,818	9,99	0,01	51,3	30	800

Следует отметить, что это – порошкообразные материалы насыпной плотностью 750..800 кг/м³, состоящие из гранул размером от 30 до 400 мкм. Каждая гранула представляет собой агрегат из частиц МК и ЗУ, между которыми имеется твердая водорастворимая прослойка из СП и РТ, «склеивающая» указанные частицы [1, 10].

В качестве вяжущего использовали портландцемент М500 Д0 Белгородского завода, соответствующий ГОСТ 10178. В качестве заполнителей – песок с $M_{кр} = 2,2$, соответствующий ГОСТ 8736, а также гранитный щебень фр. 5..20 мм, соответствующий ГОСТ 8736.

Для повышения морозостойкости бетона использовали структурообразующую добавку газообразующего действия – кремнийорганическую эмульсию КЭ 30-04 50%-й концентрации.

Фазовый состав цементного камня с дозировкой модификатора 20 % массы цемента и водотвердым отношением (В/Ц+МБ) равным 0,14 и 0,18 определяли рентгено-фазовым (РФА) и дифференциально-термическим (ДТА) анализами [7].

Исследования структуры и кинетики твердения проводили на образцах высокопрочного мелкозернистого бетона подвижностью (ОК) 21..23 см с низким водотвердым отношением (0,14 и 0,18), приготовленного по составам, в которых дозировка модификаторов также составляла 20 % массы цемента (табл.2).

Таблица 2.

Составы и прочность мелкозернистых бетонов с различными марками модификаторов

№ № со- ста- вов	Марка мо- дификатора	Количес- тво ЗУ в составе минер- альной части, %	Состав бетонной смеси, кг/м ³				В/(Ц+МБ)	Прочность на сжатие, МПа				
			це- мен т	МБ	пе- сок	во- да		1 сутки	3 суток	7 суток	14 суток	28 суток
1	МБ 10-01	0	133 0	266	531	223	0,14	68,1	91,5	110,6	114,7	128,3
2	МБ 10-30С	30	131 8	264	527	221		67,6	92,1	110,3	116,3	124,8
3	МБ 10-50С	50	130 6	262	522	219		65,7	96,8	116,2	112,3	122,5
4	МБ 10-100С	90	127 5	255	510	214		62,4	77,5	81,3	85,7	90,1
5	МБ 10-01	0	127 2	255	508	275	0,18	43,3	80,8	94,5	106,4	115,2
6	МБ 10-30С	30	125 8	259	502	271		46,5	81,5	92,6	105,5	113,8
7	МБ 10-50С	50	124 6	257	498	269		50,7	83,5	94,8	104,8	114,2
8	МБ 10-100С	90	119 1	246	476	257		56,4	75,6	76,5	81,0	86,0

Прочность мелкозернистого бетона на сжатие определяли на образцах 70×70×70 мм, твердевших в нормальных условиях в течение 28 сут.

Пористость определялась на образцах 10×10×30 мм, которые приготовлены по составам, приведенным в табл. 2, и выдерживались в нормальных условиях в течение 28 сут. Был использован комплекс взаимодополняющих методов, каждый из которых представлялся наиболее эффективным в определенном диапазоне размеров пор [4, 7].

Исследование влияния разных модификаторов на прочность при сжатии (по ГОСТ 10180), проницаемость (по ГОСТ 12730.5) и морозостойкость (по 3 методу ГОСТ 10060) тяжелого бетона проведено на образцах с дозировкой модификаторов 10% массы цемента. При этом бетонные смеси имели подвижность (ОК) 18..20 см, объем выделившегося газа 3,5÷4,0 % и следующий состав: Цемент = 500 кг/м³, МБ = 50 кг/м³, Песок = 600 кг/м³, Щебень = 1100 кг/м³, Вода = 150 л/м³, КЭ 30-04 = 0,5 кг/м³.

3. Результаты эксперимента

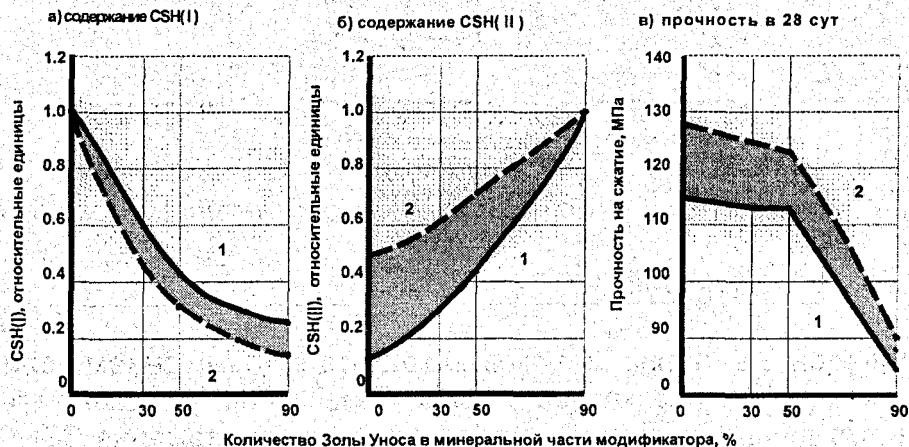
Комплексное исследование изменений фазового состава цементного камня показало, что степень гидратации цемента в возрасте 28 сут практически не зависит от присутствия в цементной системе той или иной разновидности модификатора, следовательно от соотношения МК:ЗУ, но зависит от содержания воды, в частности:

- во всех образцах с В/(Ц+МБ) = 0,14 с разными модификаторами степень гидрата-

ции оказалась на уровне 30..35 %;

- во всех образцах с $V/(Ц+МБ) = 0,18$ также с разными модификаторами – на уровне 50..55 %.

Анализ показал практически полное отсутствие портландита – $Ca(OH)_2$ – во всех образцах цементного камня. При этом выявлены тенденции изменения содержания высокоосновных и низкоосновных гидросиликатов кальция в зависимости от соотношения МК и ЗУ (рис. 1).



Количество Зола Уноса в минеральной части модификатора, %

Рис. 1.

Влияние состава минеральной части модификатора на относительное количество CSH(I) и CSH(II), а также прочность мелкозернистого бетона
1 – $V/(Ц + МБ) = 0,18$; 2 – $V/(Ц + МБ) = 0,14$.

Отметим, что содержание вторичных гидратных фаз типа CSH(I) с $C/S \approx 1$, уменьшается по мере увеличения доли ЗУ. Эта тенденция усиливается с уменьшением соотношения $V/(Ц+МБ)$, что объясняется сравнительно невысокой степенью гидратации.

Обратная картина наблюдается при определении фаз типа CSH(II): с увеличением доли ЗУ в составе модификатора в цементном камне обнаруживается повышенное содержание высокоосновных гидросиликатов. При этом по рентгенограммам выявляются гидросиликаты неопределенного строения $-3CaO \cdot SiO_2(1,5-2,0)H_2O$. Образование именно таких гидросиликатов характерно для цементных систем с низким $V/Ц$. С повышением $V/Ц$ они обычно переходят в другие формы – тоберморитоподобные структуры с $C/S = 1,5 \div 2$ и $C/S = 1 \div 1,5$ [6].

Известно, что изменение баланса между CSH(I) и CSH(II) в составе цементного камня с МК зависит от дозировок МК и количества SiO_2 . В частности, с увеличением количества диоксида кремния содержание CSH(I) повышается, а содержание CSH(II) понижается [7]. По-существу это – проявление, так называемого, «химического фактора» [8] в механизме действия МК на цементные системы, который связан с пуццолановой реакцией.

При анализе содержания SiO_2 в разных модификаторах (табл.1) можно заметить, что количество диоксида кремния в образцах зависит от соотношения между МК и ЗУ и уменьшается по мере увеличения доли ЗУ в их минеральной части. Именно это обстоятельство, на наш взгляд, объясняет выявленные различия в фазовом составе цементного камня в зависимости от вида введенного в цементную систему модификатора.

Для анализа дифференциальной пористости воспользуемся одной из известных классификаций пор по степени дисперсности [9].

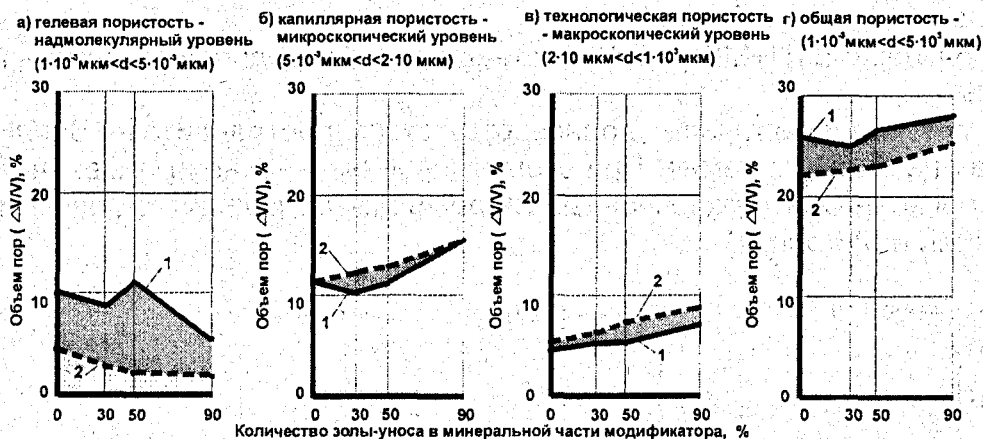


Рис. 2.

Влияние моттава минеральной части модификатора на пористость мелкозернистого бетона

1 – $V/(Ц + МБ) = 0,18$; 2 – $V/(Ц + МБ) = 0,14$.

Данные, приведенные на рис. 2, показывают, что с повышением доли ЗУ в составе минеральной части модификатора, объем гелевых пор уменьшается. Это согласуется с соответственным снижением относительного содержания CSH(I) на рис. 1 и подтверждает известное представление о том, что объем гелевых пор отражает количество высокодисперсных гидратов типа CSH(I).

Тенденция изменения объемов микро- и макрокапиллярных, а также технологических пор обратная: с повышением доли ЗУ в минеральной части модификатора наблюдается увеличение объема этих пор, ответственных в значительной степени за проницаемость. Очевидно, что увеличение объема капиллярных пор связано с повышенным содержанием гидросиликатов типа CSH(II), вызванного заменой ультрадисперсного микронаполнителя (МК) грубодисперсным (ЗУ). Однако, обратим внимание на то, что объемы пор разного уровня дисперсности (гелевых, капиллярных, технологических) в образцах, приготовленных с модификаторами, в которых МК в количестве до 50 % замещен золой-уноса, сопоставимы.

Это дает основание предположить, что модификаторы, минеральная часть которых состоит только из МК или смеси МК и ЗУ в соотношении 70:30 или 50:50 могут практически одинаково влиять на свойства бетона.

Вышеуказанные закономерности изменения параметров структуры высокопрочного мелкозернистого бетона в зависимости от соотношения между МК и ЗУ в составе модификаторов обсуждались и ранее [10] и нашли подтверждение при дальнейшем исследовании тяжелого бетона с крупным заполнителем. В табл. 3 показано влияние соотношения МК:ЗУ на основные параметры бетона одинакового состава.

На рис. 3 оно выражено степенью эффективности различных модификаторов, которая определялась по относительному (в %) изменению каждого из интересующих нас параметров. (В качестве контрольного образца использован бетон с модификатором, содержащим в минеральной части только МК, т.е. без ЗУ).

Отметим, что при замещении до 50 % МК на ЗУ прочность, проницаемость и морозостойкость практически не отличается от тех же характеристик бетона, в котором содержится модификатор только с МК. С увеличением доли ЗУ от 50 % до 90 % бетон становится более проницаемым, менее прочным и морозостойким, что в полной мере можно объяснить изменениями его фазового состава и поровой структуры.

Таблица 3.

Прочность, проницаемость и морозостойкость бетонов одинакового состава с различными марками модификатора*

Марка модификатора	Количество золы-уноса в составе минеральной части, %	Прочность			Проницаемость по ГОСТ 12730.5-84			Морозостойкость		
		прочность при сжатии в 28 суток норм. хранения		класс бетона по прочности, В	сопротивление бетона прониканию воздуха, тс		марка бетона по водонепроницаемости, W	прочность бетона после 35 циклов замораживания и оттаивания по 3-му методу ГОСТ 160.2-95,		марка бетона по морозостойкости, F
		МПа	%		сек/см ³	%		МПа	%	
МБ 10-01	0	80,6	100	B60	148,7	100	>W20	78,9	100	F1000
МБ 10-30С	30	82,3	102	B60	149,0	100	>W20	78,2	99	F1000
МБ 10-50С	50	79,5	99	B60	142,8	96	>W20	75,6	96	F1000
МБ 10-100С	90	67,0	83	B50	126,4	85	W20	57,6	73	F600

* Состав бетонных смесей, имевших подвижность (ОК) в диапазоне 18-20 см и объем выделившегося газа в диапазоне 3,5-4,0 %, цемент = 500 кг/м³, МБ = 50 кг/м³, песок = 600 кг/м³, щебень = 1100 кг/м³, вода = 150 л/м³, КЭ 30-04 = 0,5 кг/м³.

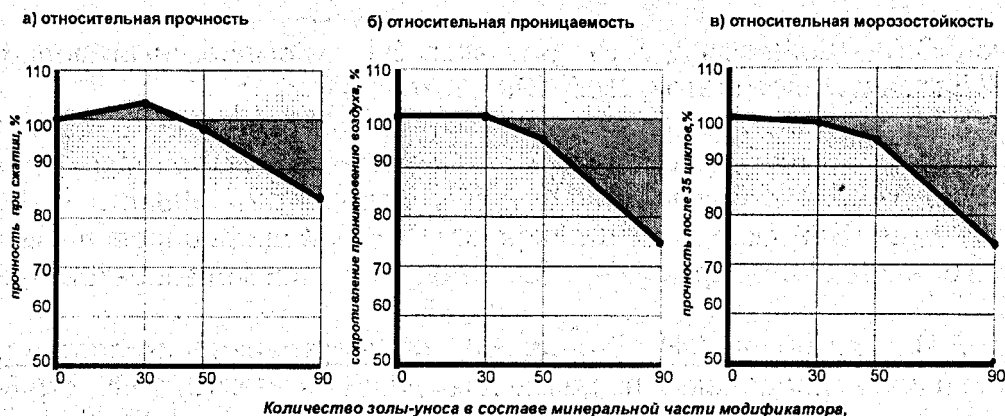


Рис. 3.

Степень эффективности модификаторов с различным составом минеральной части по влиянию на прочность, проницаемость и морозостойкость бетона одинакового состава

Очевидно, 50 % ЗУ в составе модификатора является своеобразным «порогом», превышение которого существенно ухудшает (в сравнении с модификатором, содержащим только МК) основные характеристики бетона, особенно морозостойкость.

4. Выводы

1. Эффективность органо-минерального модификатора бетона, органическая часть которого представлена суперпластификатором и регулятором твердения, а минеральная часть состоит из микрокремнезема или смеси микрокремнезема с золой-уноса, зависит от соотношения МК:ЗУ.
2. Соотношение между микрокремнеземом и золой-уноса в составе модификатора влияет на фазовый состав и структуру цементного камня и, соответственно, на свойства бетона.

Установлено, что с повышением доли золы-уноса сокращается содержание высокодисперсных и прочных низкоосновных гидросиликатов типа CSH(I) и, наоборот, увеличивается содержание сравнительно грубодисперсных и менее прочных кристаллогидратов типа CSH(II).

Повышение доли золы-уноса приводит к изменению баланса между порами разной степени дисперсности в структуре цементного камня – к уменьшению объема гелевых и увеличению объема микро- и макрокапиллярных пор.

3. Замена до 50% дефицитного микрокремнезема на более доступную золу-уноса несущественно отражается на эффективности органо-минеральной композиции. При этом возможно получать бетоны с сопоставимыми характеристиками (прочностью, проницаемостью, морозостойкостью). Соотношение МК:ЗУ=50:50 в составе модификатора, очевидно, является «порогом эффективности» материала, изменение которого в сторону увеличения доли ЗУ, оказывает ощутимое негативное влияние на основные характеристики бетона, особенно на морозостойкость.
4. Замена до 50% микрокремнезема на золу-уноса позволяет расширить сырьевую базу производства высокоэффективных модификаторов серии «МБ», уменьшив, при этом, их стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. «Комплексный модификатор МБ-01» // Бетон и железобетон, № 5, 1997, стр.38-41.
2. Смирнов Н.В., Антонов Е.А., Дмитриев А.И. и др. «Перспективы применения бетонов с высокими эксплуатационными свойствами в отечественном транспортном строительстве» // Транспортное строительство, № 12, 1998, стр.16-18.
3. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. «Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива». // Бетон и железобетон № 6, 1999, стр.6-10.
4. Бетехтин В.И., Бахтибаев А.Н., Егоров Е.А. «Концентрация микропор в цементном камне и их распределение по размерам» // Цемент, № 10, 1989, стр.8-10.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Силина Е.С., Жигулев Н.Ф., Бoryгин С.Т. «Высокопрочные бетоны повышенной морозостойкости с органо-минеральным модификатором» // Транспортное строительство, № 11, 2000, стр.24-27.
6. Мчедлов-Петросян О.П. «Химия неорганических строительных материалов» // М., Стройиздат, 1988, стр.163.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. «Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона» // Бетон и железобетон, № 7, 1992, стр.4-7.
8. R.Detwiler, P.K.Mehta. "Chemical and Physical Effects of Silica Fume on the Mechanical Behavior of Concrete". ACI Materials Journal, 1989, Nov-Dec., pp.609-614.
9. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. «Добавки в бетон» // М., Стройиздат, 1989, стр.36.
10. S.Kaprielov, A.Sheinfeld " Influence of Silica Fume / Fly Ash / Superplasticizer Combinations in Powder-Like Complex Modifiers on Cement Paste Porosity and Concrete Properties" // 6-th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and other Chem. Admixtures in Concrete. Nice, France, oct.2000, Proceedings, p.p.383-400.