

УДК 666.972.16

Н. М. ЗАЙЧЕНКО^а, А. В. НАЗАРОВА^б, МАРШДИ КОСАЙ САХИБ РАДИ^с^а Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^б Луганский национальный аграрный университет, ^с Аль Мустакбаль университет, Ирак

ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТА С КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ДОБАВКОЙ

Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что комплексная органо-минеральная добавка модифицирует состав продуктов гидратации камня вяжущего. Замедляющее действие добавки, снижающей усадку SRA 25, на кинетику роста прочности цементного камня в ранние сроки твердения иллюстрируется снижением интенсивностей дифракционных отражений портландита ($d = 0,493; 0,312; 0,145$ нм) и этtringита ($d = 0,561; 0,469; 0,215$ нм), а также более высокой интенсивностью линий алита ($d = 0,176; 0,164; 0,154$ нм) в сравнении с контрольным составом. Показано, что агент внутреннего ухода интенсифицирует гидратацию цементного камня, что прослеживается по росту интенсивностей дифракционных отражений портландита и гидросиликатов кальция, а также гидроксида магния (брусита).

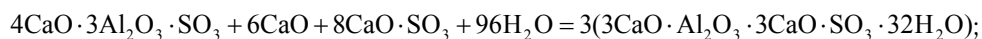
портландцемент, гидратация, суперпластификатор, добавка, снижающая усадку, агент внутреннего ухода, портландит, гидросиликаты кальция

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из ключевых задач получения высокофункциональных бетонов с повышенной долговечностью является минимизация негативного влияния на свойства бетона усадочных деформаций при твердении и эксплуатации. Данная проблема может быть решена при применении цементов с компенсированной усадкой, механизм твердения которых основывается на расширении цементной матрицы в отличие от усадки обычных цементов [1].

Согласно ASTM C845-90 и ACI 223-98 различают три типа расширяющихся цементов [2], механизм расширения которых основан на кристаллизации гидросульфатоалюмината кальция при взаимодействии сульфата кальция с вводимыми в цемент или образующимися при его гидратации гидроралюминатами кальция [3]:

– тип «К»: цемент, твердеющий по схеме:



– тип «М»: смесь портландцемента с алюминатами кальция CA и C_7A_{12} ;

– тип «S»: портландцемент с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината и гипса.

Реакция образования гидросульфатоалюмината кальция начинается сразу же после перемешивания компонентов бетонной смеси и длится от трех до семи суток. Таким образом, расширение происходит в тот момент, когда бетон имеет уже достаточно высокую прочность сцепления со стальной арматурой. В то же время во многих случаях применение расширяющихся цементов (типы «К», «М», «S») не обеспечивает требуемого уровня расширения для компенсации усадки [4]. Для того, чтобы более точно регулировать содержание расширяющегося компонента в бетоне, разработаны различные типы расширяющихся добавок в виде самостоятельных компонентов бетонных смесей [5]. Расширяющиеся добавки на основе сульфатоалюмината кальция дают расширения при контролируемом процессе образования этtringита (например, добавка, содержащая золу-унос – 13,9 %; молотый доменный граншлак – 49,5 % и ангидрит – 36,6 % [6]). Эти добавки также уменьшают количество воды,

испаряемой из бетона – вторичный фактор снижения усадки бетона при высыхании [5]. В то же время применение расширяющихся компонентов в качестве добавок к обычному портуландцементу также имеет ряд и негативных последствий, что может быть вызвано различным химико-минералогическим составом исходного цемента и, как следствие, непрогнозируемым количеством образующегося этtringита [7].

Реакция полного преобразования сульфалоуминатной расширяющейся добавки в этtringит длится минимум семь суток, а для формирования этtringита необходимо большое количество воды, что в значительной мере зависит от влажностного ухода [1, 2, 8]. Таким образом, применение сульфалоуминатной расширяющейся добавки в бетонах без надлежащего водного ухода может быть неэффективным. Кроме того, для высокопрочного бетона с низкой проницаемостью (В/Ц 0,4) или массивных бетонных конструкций вода может иметь ограниченную пенетрацию вглубь бетона и, следовательно, быть недостаточной для полной гидратации расширяющейся добавки с высокой водопотребностью даже при обеспечении внешнего влажностного ухода [5]. При высоких температурах (более 70 °С) этtringит может подвергаться разложению, поэтому он может представлять потенциальную опасность для некоторых массивных бетонных конструкций при повышении температуры в процессе гидратации цемента [9].

Известно, что бетоны с добавкой расширяющегося компонента на основе оксида кальция требуют значительно меньшей продолжительности влажностного ухода (до двух суток) для достижения необходимого уровня расширения [8, 10]. Научной школой Mario Collepardi выявлен синергетический эффект при комбинированном использовании добавки на основе полипропиленгликоля, снижающей усадку – Shrinkage Reducing Admixture (SRA), и расширяющегося компонента на основе СаО даже при отсутствии влажностного ухода [10, 11]. Однако расширение бетона в раннем возрасте, как правило, в пределах 2–7 суток, не компенсирует усадку, которая развивается в более поздние сроки, в частности усадку при высыхании [9]. Эти проблемы могут быть решены при использовании расширяющегося компонента с эффектом расширения в более поздние сроки твердения, например оксида магния, обожжённого при температурах в пределах 800...1 200 °С [5, 9, 12]. С другой стороны, на наш взгляд, эффект расширения оксидов кальция и магния в бетоне должен быть более полным при условии обеспечения адекватного влажностного ухода, в частности внутреннего.

Таким образом, необходимым условием получения высококачественных бетонов с компенсированной усадкой является использование комплекса модификаторов, в частности:

- суперпластификатора с высоким водоредуцирующим эффектом;
- расширяющегося компонента на основе оксидов кальция и магния, полученного путем обжига, например доломита;
- агента внутреннего ухода (предварительно водонасыщенный мелкий пористый наполнитель), что обеспечит более полную гидратацию расширяющегося компонента (оксида магния) в более поздние сроки твердения.

Целью работы является установление влияния состава органо-минерального модификатора на твердение цемента и формирование продуктов гидратации цементных паст.

Характеристика исходных материалов

При исследовании влияния состава органо-минерального модификатора на формирование продуктов гидратации цементных паст в качестве исходных ингредиентов приняты:

- сульфатостойкий цемент (the sulphate resistance cement, Al Qa'im, Республика Ирак);
- суперпластификатор (СП) – порошковая добавка на основе модифицированного поликарбонксилатного эфира Melflux 5581 F (BASF);
- добавка, снижающая усадку (SRA) – Mapecure SRA 25, Mapei;
- расширяющийся компонент (ПК) – порошковая добавка, полученная обжигом в течение часа при температуре 1150 °С молотого (остаток на сите № 008 – 55 %) доломитизированного известняка;
- агент внутреннего ухода – предварительно водонасыщенный керамзитовый песок (КП) фракции 2,5...5,0 мм.

Состав цементных паст подобран исходя из условия обеспечения одинаковой подвижности цементных паст по показателю расплыва мини-конуса на встряхивающем столике в пределах 145...150 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Состав цементных паст

Наименование компонента	Ед. изм.	Расход, состав					
		1	2	3	4	5	6
Портландцемент	г	400	400	400	400	400	400
Расширяющаяся добавка	г	–	32	32	32	32	–
Суперпластификатор	г	–	2	2	2	2	–
Добавка SRA	мл	–	–	1	1	1	1
Керамзитовый песок	г	–	–	–	–	–	–
Вода	мл	125	108	111	109	109	124
В/Ц	–	0,31	0,27	0,26	0,25	0,25	0,31

Результаты экспериментов и обсуждение

Установлено, что применение в составе цементной пасты контрольного состава (состав № 1) суперпластификатора на основе модифицированного карбоксилатного эфира Melflux 5581 F (состав № 2) обеспечивает повышение прочности при сжатии цементного камня в возрасте 3 суток – на 55 %, 28 суток – на 37,5 % (рис. 1). Это обусловлено как снижением величины водоцементного отношения в равноподвижной цементной пасте, так и диспергирующим эффектом суперпластификатора, создающего электростерическую стабилизацию дисперсной системы.

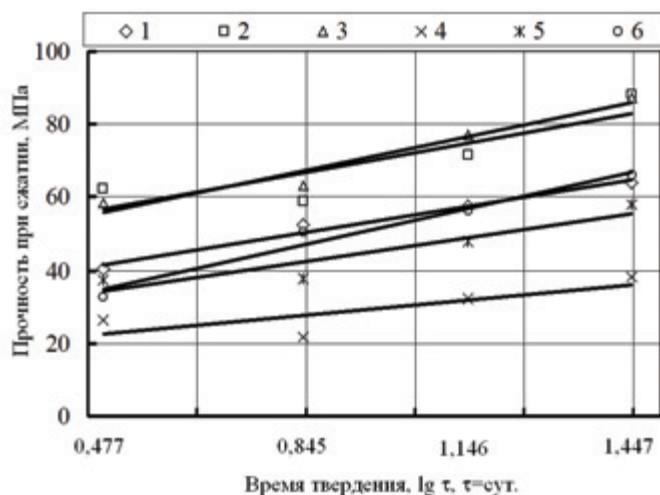


Рисунок 1 – Влияние состава комплексного модификатора на кинетику роста прочности цементного камня.

При введении в состав контрольной цементной пасты добавки, снижающей усадку SRA 25, отмечено уменьшение на 19,3 % прочности цементного камня в возрасте 3 суток (состав № 6), что обусловлено замедляющим эффектом добавки на твердение вяжущего на ранних этапах. В то же время, при совместном введении добавок SRA 25 и Melflux 5581 F (состав № 3) прочность цементного камня в сравнении с составом, содержащим только добавку Melflux 5581 F (состав № 2), практически не изменяется во все исследуемые сроки твердения. Следует также отметить, что для обоих составов цементных паст (№№ 2 и 3), содержащих, кроме химических добавок SRA 25 и Melflux 5581 F, расширяющийся компонент, наблюдается незначительное падение прочности в возрасте 7 суток по сравнению с показателем в возрасте 3 суток (в цементном камне состава № 3 менее выраженное, чем в составе № 2). Этот сброс прочности наиболее вероятно связан с развитием напряжений в цементном камне, вызванном гидратацией и расширением оксидов кальция и магния, содержащихся в расширяющемся компоненте.

При добавлении к цементной пасте, содержащей комплексный модификатор (суперпластификатор, добавка, снижающая усадку, и расширяющийся компонент, состав № 3) небольшой порции сухого керамзитового песка, наблюдается существенное снижение прочности – в возрасте 3 суток на 54 %, 7 суток – на 66 %, 14 суток – на 58 %, 28 суток – на 56 % (состав № 4). Здесь также отмечен явно выраженный сброс прочности в возрасте 7 суток по сравнению с прочностью в возрасте 3 суток. Кроме

того, исходная подвижность цементной пасты уже через 3...5 минут начала резко снижаться, что обусловлено интенсивным поглощением воды затворения керамзитовым песком.

В то же время использование предварительно водонасыщенного керамзитового песка, во-первых, исключает проблему быстрой потери подвижности цементной пастой, во-вторых, обеспечивает существенное повышение показателей прочности при сжатии (состав № 5). Для сравнения изменение (снижение/повышение) показателей прочности состава № 5 в сравнении с составами № 3 и № 4 иллюстрируется следующими данными: 3 суток твердения: -36% / $+42\%$; 7 суток: -40% / $+76\%$; 14 суток: -38% / $+49\%$; 28 суток: $-33,5\%$ / $+52\%$. В возрасте 7 суток сброс прочности имеет менее выраженный характер. Таким образом, очевидно, что наличие в составе цементной пасты агента внутреннего ухода оказывает положительное влияние на процессы гидратации вяжущего и расширяющейся добавки. Снижение прочности бетона, в котором агент внутреннего ухода (пористый керамзитовый песок) присутствует в виде частичной замены плотного песка, будет в значительно меньшей степени, чем это отмечено для цементного камня.

По данным рентгенофазового анализа для цементных паст с добавкой SRA 25 (№ 6) и контрольного состава № 1, твердевших в течение 3 суток, отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита: снижение интенсивностей линий $d = 0,595; 0,297; 0,278$ нм и повышение интенсивностей линий $d = 0,176; 0,164; 0,154$ нм (рис. 2, табл. 2).

Одновременно наблюдается снижение интенсивности дифракционных отражений, характерных для образующегося в процессе гидратации портландцемента минерала портландита: $d = 0,493; 0,312; 0,145$ нм.

Относительная величина изменения (снижение/повышение) интенсивностей линий $d = 0,263; 0,193; 0,179; 0,169$ нм является незначительной. Образующийся в начальной стадии взаимодействия алита с водой первичный гидросиликат кальция C_3SH_2 , который подвергается быстрому гидролизу с образованием соединений с меньшим отношением C/S, характеризуется меньшей интенсивностью дифракционных отражений в образце цементного камня состава № 6 по сравнению с контрольным: $d = 0,501; 0,301; 0,247; 0,208$ нм. Также отмечена меньшая интенсивность некоторых линий, идентифицирующих минерал этtringит: $d = 0,561; 0,469; 0,215$ нм.

Таким образом, вышеприведенное описание рентгенограмм объясняет причину замедляющего действия добавки, снижающей усадку SRA 25, на кинетику роста прочности цементного камня в ранние сроки твердения. Цементный камень, содержащий добавку суперпластификатора и расширяющийся компонент (образец № 2), характеризуется меньшей интенсивностью основных дифракционных отражений алита: $d = 0,595; 0,278; 0,176; 0,164$ нм в сравнении с контрольным образцом. Эта тенденция усиливается с увеличением срока твердения – 14 суток.

В возрасте от 3 до 14 суток твердения наблюдается рост линий портландита $d = 0,312; 0,193; 0,179; 0,169; 0,145$ нм. При этом абсолютные значения интенсивностей основных линий $d = 0,193; 0,179$ нм для обоих образцов выше в сравнении с аналогичными линиями контрольного образца № 1. Вероятно, это связано как с интенсификацией гидратации портландцемента, так и образованием гидроксидов кальция в ходе гидратации расширяющегося компонента. Четкой тенденции изменения интенсивности линий, характеризующих различные гидросиликаты кальция: первичный C_3SH_2 и вторичный $C_2SH(II)$ для образцов контрольного состава и состава № 2 не отмечено.

Для образца цементного камня с комплексом добавок: суперпластификатор, добавка, снижающая усадку, и расширяющийся компонент (состав № 3) в сравнении с предыдущими образцами можно отметить более характерное снижение интенсивностей основных линий алита в возрасте 3 и 14 суток (рис. 3).

Незначительные по интенсивности дифракционные отражения минерала брусита $d = 0,475, 0,158$ нм на рентгенограммах образцов с расширяющейся добавкой на основе обожженного доломитизированного известняка (№№ 2, 3) свидетельствуют о гидратации MgO с образованием $Mg(OH)_2$ в более поздние сроки твердения (14 суток).

Сравнивать интенсивность дифракционных отражений на рентгенограммах образцов, содержащих в своем составе керамзитовый песок (составы №№ 4, 5), с остальными образцами представляется некорректным ввиду различного содержания собственно вяжущего вещества в образце, а также возможного искажения «чистоты» рентгенограмм вследствие наличия посторонних примесей в виде обожженных глинистых минералов керамзита. В то же время возможно проследить влияние предварительного водонасыщения на формирование продуктов гидратации, рассматривая водонасыщенный керамзитовый песок как агент внутреннего ухода цементного камня (рис. 4, 5).

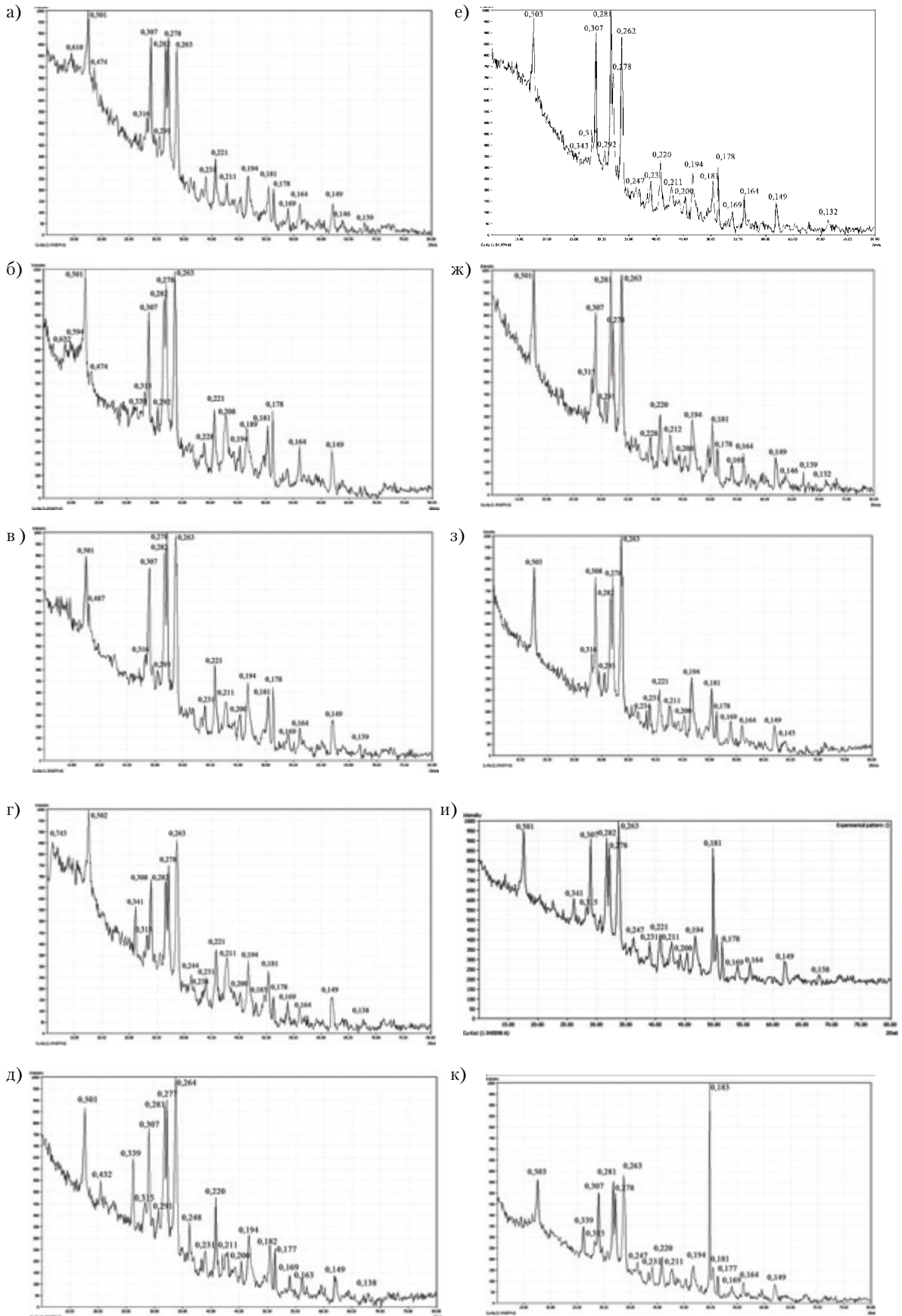


Рисунок 2 – Рентгенограмма образцов камня вяжущего: а)... е) составов № 1–6 в возрасте 3 суток твердения; ж)... к) составов № 2–5 в возрасте 14 суток твердения.

Таблица 2 – Интенсивность дифракционных отражений минералов по данным РФА

2θ	d, нм	Интенсивность									
		1–3	2–3	2–14	3–3	3–14	4–3	4–7	5–3	5–7	6–3
Алит – $5\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$											
14,93	0,595	176,8	153,6	–	–	51,7	–	–	–	–	135,9
29,97	0,297	135,9	134,1	115,5	173,0	168,0	130,7	129,8	–	65,1	59,8
32,17	0,278	934,3	850,7	617,8	831,5	631,8	709,0	641,7	686,1	559,1	718,8
51,31	0,176	280,4	210,0	152,1	236,2	133,3	201,2	160,8	204,2	134,1	299,6
56,09	0,164	198,7	163,5	133,7	124,8	123,6	125,8	114,7	114,6	110,1	186,2
59,66	0,154	29,7	59,6	48,5	50,6	27,1	45,2	37,7	67,6	47,2	33,8
Портландит – $\text{Ca}(\text{OH})_2$											
17,97	0,493	219,8	50,4	–	183,6	–	37,6	148,5	108,8	145,8	149,6
33,68	0,263	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	800,5	960,3
28,31	0,312	255,7	205,7	291,3	215,5	227,5	180,9	207,2	194,4	152,5	188,7
46,70	0,193	132,1	293,9	329,4	328,0	348,2	351,9	303,7	291,2	216,0	132,4
50,40	0,179	261,4	280,4	290,4	281,8	308,9	341,7	297,4	275,3	211,4	288,8
53,96	0,169	122,7	90,0	106,1	74,9	137,3	111,5	107,0	111,7	84,2	118,6
64,01	0,145	60,9	68,4	87,0	43,7	54,3	64,0	56,0	47,9	45,3	44,6
Гидросиликат кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{II}) - 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$											
28,98	0,307	765,7	558,5	654,5	620,7	632,4	524,1	652,3	571,8	586,9	763,1
45,12	0,200	107,7	94,1	98,5	147,4	121,6	134,3	78,8	110,0	85,9	99,4
49,65	0,183	71,6	154,8	155,0	93,8	308,9	186,5	817,5	189,2	1000	112,2
60,19	0,156	40,2	77,7	47,5	34,2	23,4	52,9	34,3	30,0	37,8	52,3
66,98	0,140	33,4	25,0	24,2	54,7	38,4	56,3	56,3	61,8	64,4	35,4
Гидросиликат кальция $\text{C}_3\text{SH}_2 - 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$											
17,68	0,501	615,5	611,0	521,8	462,7	483,0	744,2	516,8	418,5	468,5	588,5
29,69	0,301	179,7	93,6	204,6	177,7	146,8	180,4	163,2	139,8	109,9	112,7
36,29	0,247	99,1	92,0	89,3	110,7	76,8	102,5	112,9	172,6	136,1	61,5
43,36	0,208	92,8	132,7	111,4	79,1	71,6	158,7	106,7	62,0	39,7	91,6
Гидроалюминат кальция $\text{C}_3\text{AH}_6 - 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$											
31,77	0,281	984,7	794,3	893,3	850,4	644,8	679,1	797,0	785,6	657,7	1000
38,99	0,230	189,4	124,6	149,6	158,7	133,4	142,4	150,6	131,3	117,6	147,0
44,23	0,204	114,2	127,1	83,9	106,5	86,9	122,8	97,9	92,9	75,3	102,9
Этtringит – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$											
15,85	0,561	176,0	103,7	–	–	39,4	311,6	–	–	–	157,2
19,00	0,469	165,7	–	30,3	–	23,6	148,5	46,0	–	–	114,4
20,09	0,441	41,6	–	26,4	–	–	103,2	55,2	74,1	21,0	93,9
41,87	0,215	49,5	49,6	41,4	66,7	37,0	84,8	48,8	104,2	–	29,3
56,51	0,162	38,1	68,2	54,2	56,3	44,9	48,0	38,8	32,6	21,5	67,5
59,10	0,157	40,2	77,7	47,3	34,2	23,4	52,9	26,9	37,8	30,0	57,2
Брусит – $\text{Mg}(\text{OH})_2$											
18,67	0,475	–	50,4	87,8	49,2	68,9	–	–	97,6	114,8	–
58,20	0,158	–	–	21,9	–	28,1	–	–	14,8	47,5	–

Прослеживается уменьшение интенсивностей основных линий для образцов четвертого и пятого составов с течением времени гидратации от 3 до 7 суток (рис. 4). При этом для образца с предварительно водонасыщенным керамзитом относительная интенсивность линий алита является минимальной в возрасте 7 суток твердения (за 100 % приняты интенсивности всех дифракционных отражений образца состава № 4 в возрасте 3 суток).

С другой стороны, наблюдается рост интенсивностей линий портландита $d = 0,493; 0,312$ нм с развитием гидратации. В то же время, интенсивность линий $d = 0,263; 0,193; 0,179; 0,169$ нм снижается. Это может быть связано со связыванием гидроксида кальция в гидросиликаты кальция, принимая во внимание содержание в песчаной фракции керамзита дисперсных активных алюмосиликатных частиц. Эта реакция значительно интенсифицируется в возрасте 7 суток при наличии источника дополнительной влаги в цементном камне – агента внутреннего ухода в виде предварительно водонасыщенного керамзита, что особенно четко прослеживается по изменению одного из основных пиков гидросиликата кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{II})$ $d = 0,183$ нм (рис. 5).

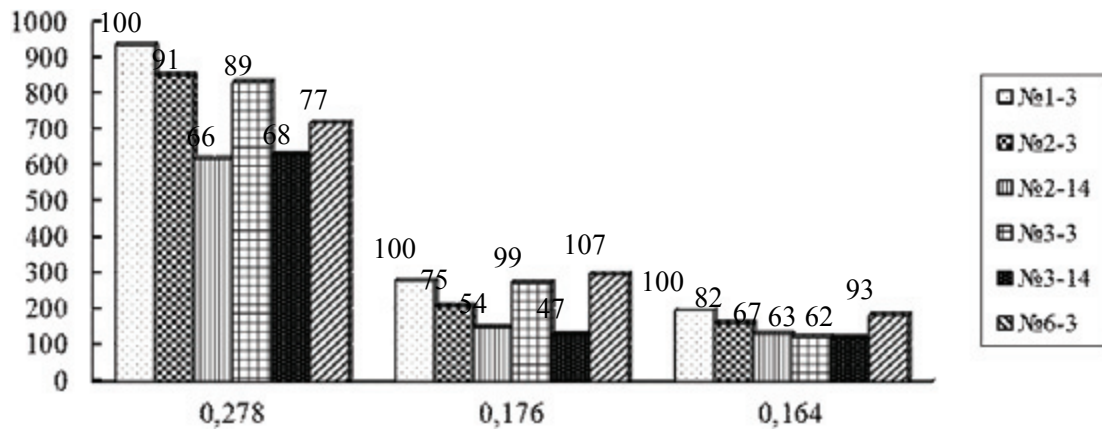


Рисунок 3 – Относительная интенсивность (%) основных линий алита.

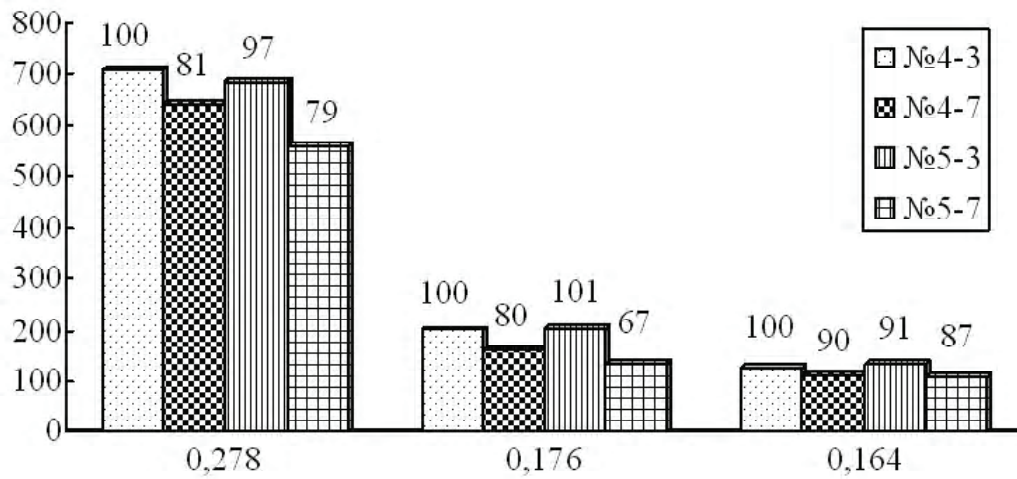


Рисунок 4 – Относительная интенсивность (%) основных линий алита.

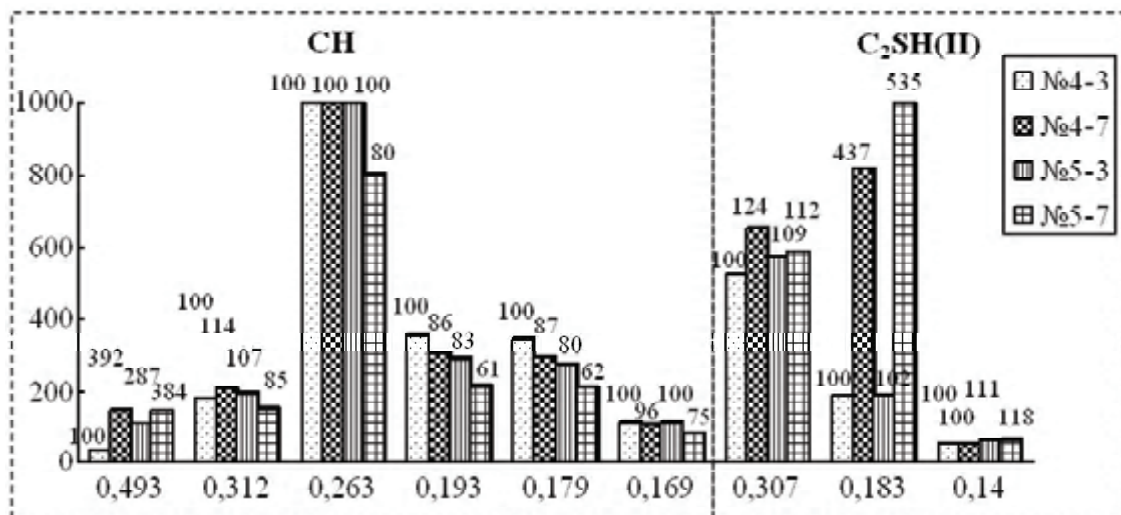


Рисунок 5 – Относительная интенсивность (%) основных линий портландита CH и гидросиликата кальция C₂SH(II).

Наличие агента внутреннего ухода оказывает также положительное влияние на гидратацию оксида магния – идентификация в образцах пятого состава дифракционных отражений брусита $Mg(OH)_2$; $d = 0,475; 0,158$ нм, которые отсутствуют в образцах четвертого состава.

ВЫВОДЫ

Данные РФА свидетельствуют о том, что комплексная органо-минеральная добавка модифицирует состав продуктов гидратации камня вяжущего. Замедляющее действие добавки, снижающей усадку SRA 25, на кинетику роста прочности цементного камня в ранние сроки твердения иллюстрируется снижением интенсивностей дифракционных отражений портландита и эттрингита, а также более высокой интенсивностью линий алита в сравнении с контрольным составом. Показано, что агент внутреннего ухода интенсифицирует гидратацию цементного камня, что прослеживается по росту интенсивностей дифракционных отражений портландита и гидросиликатов кальция, а также гидроксида магния (брусита).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hansen, W. Report on Early-Age Cracking: A summary of the latest document from ACI Committee 231 [Текст] / W. Hansen // Concrete international. – 2011. – Vol. 33, No. 3. – P. 48–51.
2. Troli, R. Shrinkage-Compensating Concretes for Special Structures [Текст] / R. Troli, M. Collepardi // 4th Intern. Conf. on «Non-Traditional Cement & Concretes», June 27–30, 2011 : Proc. / Brno University of Technology, ZPSV, a.s. – Brno (Czech Republic), 2011. – P. 20.
3. Мчедлов-Петросян, О. П. Расширяющиеся составы на основе портландцемента (химия и технология) [Текст] / О. П. Мчедлов-Петросян, Л. Г. Филатов. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1965. – 138 с.
4. SRAs – RECENT STUDIES [Текст] : Report No. CBU-2003-50, REP-543 / By Fethullah Canpolat and Tarun R. Naik ; Center for By-Products Utilization. – Milwaukee : Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science the University of Wisconsin, 2003. – 18 p.
5. Mo, L. Effects of MgO-based expansive additive on compensating the shrinkage of cement paste under non-wet curing conditions [Текст] / L. Mo, M. Deng, A. Wang // Cement and Concrete Composites. – 2012. – Vol. 34. – P. 377–383.
6. Chen, W. Hydration of mineral shrinkage-compensating admixture for concrete: An experimental and numerical study [Текст] / W. Chen, H. J. H. Brouwers // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 26. – P. 670–676.
7. Neville, A. M. Properties of Concrete [Текст] / Adam M. Neville. – 4th Edition. – New York : Longman, 1995. – 860 p. – ISBN 0-582-23070-5.
8. Crack-Free Concrete for Outside Industrial Floors in the Absence of Wet Curing and Contraction Joints [Текст] / M. Collepardi, R. Troli, M. Bressan, F. Liberatore, G. Sforza // Cement and Concrete Composites. – 2008. – 30(2). – P. 887–891.
9. Mo, L. Effects of calcination condition on expansion property of MgO-type expansive agent used in cement-based materials [Текст] / L. Mo, M. Deng, M. Tang // Cement and Concrete Research. – 2010. – Vol. 40. – P. 437–446.
10. Effects of shrinkage-reducing admixture in shrinkage compensating concrete [Текст] / M. Collepardi, A. Borsoi, S. Collepardi, JJ. Ogoumah Olagot, R. Troli // Concrete International. – 2005. – Vol. 27, No. 10. – P. 1–8.
11. Self-Curing, Shrinkage-Free Concrete [Текст] / M. Collepardi, A. Borsoi, S. Collepardi, R. Troli, M. Valente // Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Durability of Concrete, 29 May – 2 June 2006 : Proc. / Malhotra, V. M. (ed.). – Montreal (Canada) : ACI Material Journal SP 234-47, 2006. – P. 755–764.
12. Xu, L. Dolomite used as raw material to produce MgO-based expansive agent [Текст] / Xu Lingling, Deng Min // Cem. Concr. Res. – 2005. – Vol. 35. – P. 1480–1485.

Получено 26.02.2016

М. М. ЗАЙЧЕНКО ^a, А. В. НАЗАРОВА ^b, МАРШІ ДІ КОСАЙ САХІБ РАДІ ^c ТВЕРДІННЯ ЦЕМЕНТУ З КОМПЛЕКСНОЮ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОЮ РОЗШИРЮВАЛЬНОЮ ДОБАВКОЮ

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^b Луганський національний аграрний університет, ^c Аль Мустакбаль університет, Ірак

Дані рентгенофазового аналізу свідчать про те, що комплексна органо-мінеральна добавка модифікує склад продуктів гідратації каменю в'язучого. Уповільнюючий вплив добавки, що знижує усадку SRA 25, на кінетику зростання міцності цементного каменю в ранні терміни твердіння ілюструється зниженням інтенсивностей дифракційних відображень портландиту ($d = 0,493; 0,312; 0,145$ нм) та еттрингіту ($d = 0,561; 0,469; 0,215$ нм), а також більш високою інтенсивністю ліній аліту ($d = 0,176; 0,164; 0,154$ нм) у порівнянні з контрольним складом. Показано, що агент внутрішнього догляду інтенсифікує гідратацію цементного каменю, що простежується за зростанням інтенсивностей

дифракційних відображень портландиту та гідросилікатів кальцію, а також гідроксиду магнію (бруситу).

портландцемент, гідратація, суперпластифікатор, добавка, що знижує усадку, агент внутрішнього догляду, портландит, гідросилікати кальцію

NICKOLAY ZAICHENKO ^a, ANTONINA NAZAROVA ^b, MARSHDI KOSAI SAHIB RADI ^c

HARDENING OF CEMENT WITH COMPLEX ORGANIC-MINERAL EXPANDING ADMIXTURE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Lugansk National Agrarian University, ^c Al Mustaqbal University, Iraq

X-ray diffraction data indicate that the complex organic-mineral admixture modifies the composition of cement paste hydration products. The retarding effect of the shrinkage reducing admixture SRA 25 on the kinetics of growth of cement paste strength at the early stages of hardening is illustrated by decreasing the intensities of the diffraction reflections of Portlandite ($d=0.493, 0.312, 0.145$ nm) and ettringite ($d=0.561, 0.469, 0.215$ nm) and higher intensity of lines of alite ($d=0.176, 0.164, 0.154$ nm) in comparison with the control composition. It was shown that the internal curing agent intensifies hydration of cement paste that can be traced on the growth of the intensities of the diffraction reflections of Portlandite and calcium hydrosilicates as well as magnesium hydroxide (brucite).

Portland cement, hydration, superplasticizer, shrinkage reducing admixture, internal curing agent, Portlandite, calcium hydrosilicates

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні бетони на основі комплексних органо-мінеральних модифікаторів.

Назарова Антоніна Василівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри будівництва Луганського національного аграрного університету. Наукові інтереси: бетони з використанням відходів промисловості.

Маршді Косай Сахіб Раді – кандидат технічних наук, викладач Аль Мустақбаль університету (Ірак). Наукові інтереси: модифіковані цементні бетони для будівництва автомобільних доріг.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные бетоны на основе комплексных органо-минеральных модификаторов.

Назарова Антонина Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры строительства Луганского национального аграрного университета. Научные интересы: бетоны с использованием отходов промышленности.

Маршди Косай Сахиб Раді – кандидат технических наук, преподаватель Аль Мустақбаль университета (Ирак). Научные интересы: модифицированные цементные бетоны для строительства автомобильных дорог.

Zaichenko Mykola – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes on the base of organic-mineral modifiers.

Nazarova Antonina – Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Assistant Professor, Construction Department, Lugansk National Agrarian University. Scientific interests: concretes with industrial wastes.

Marshdi Kosai Sahib Radi – Ph.D. (Eng.), lecturer of the Al Mustaqbal University, Iraq. Scientific interests: modified Portland cement concretes for automobile road construction.