

УДК 691.54

Л.В. ИЛЬИНА, А.И. КУДЯКОВ, А.К. ТУЛЯГАНОВ

ЦЕМЕНТНЫЕ РАСТВОРЫ С ТОНКОДИСПЕРСНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Приведены результаты исследований по разработке состава раствора для каменной кладки надземных конструкций при относительной влажности воздуха помещений как до, так и свыше 60 %. Установлено, что при добавлении в раствор тонкодисперсного карбоната кальция, отхода горнодобывающей промышленности, в количестве 7 % от массы цемента прочность раствора в 28-суточном возрасте нормального твердения увеличивается на 15 %. При введении комбинированной карбонатной добавки, состоящей из 9 % тонкодисперсного известняка и 30 % гидратной извести, повышается водоудерживающая способность растворной смеси на 38,5 %. Введение 7 % тонкодисперсного карбоната кальция позволяет получить водостойкий раствор, содержащий 25 % гидратной извести. Прочность раствора при этом составляет 13,5 МПа.

К л ю ч е в ы е с л о в а: карбонатные добавки, тонкодисперсные добавки, гидратная известь, раствор, растворная смесь, водоудерживающая способность, прочность при сжатии, водостойкость.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-732-12-32-43

Введение. Для устройства стен при возведении зданий из мелкоштучных цементных, керамических или каменных изделий широко используются кладочные цементно-известковые растворы централизованного изготовления, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 28013–98 по параметрам качества: водоудерживающая способность и расслаиваемость смеси, прочность при сжатии и водостойкость раствора. Такие растворы можно применять для стен надземных конструкций и для фундаментов в маловлажных и влажных грунтах.

Увеличение долговечности и технологичности возведения стеновых конструкций зданий из мелкоштучных изделий с использованием кладочного цементного раствора является актуальной задачей.

Для улучшения технико-экономических показателей, а именно водоудерживающей способности растворной смеси, снижения расслаиваемости, а также повышения прочности, водостойкости в соответствии с СП 82-101–98 рекомендуется вводить минеральные добавки (известковое тесто, глину). Известно, что добавление извести в раствор снижает его водостойкость и прочность. Улучшить технико-экономические показатели раствора можно заменой известкового теста тонкодисперсными минеральными добавками, в том числе из отходов промышленности [1–5]. Целесообразность использования тонкодисперсного техногенного и природного сырья при изготовлении строительных материалов обусловлена как требованием повышения качества строительных материалов, так и необходимостью утилизации многотоннажных отходов производства.

© Ильина Л.В., Кудяков А.И., Туляганов А.К., 2019

Потенциальным источником минеральных добавок для получения раствора могут служить тонкодисперсные попутные отходы от дробления горных пород из систем пылеулавливания, которые могут использоваться в качестве наполнителя без дополнительного помола. К таким материалам относятся тонкодисперсные горные породы: известняк, волластонит, диопсид, доломит и др. [2–4]. В России ежегодно образуется около 3,5 млрд т отходов горно-добывающих предприятий. Строительная индустрия способна утилизировать 25–27 % годового объема вскрышных и попутно добываемых пород, отходов обогащения и отсевов дробления, но использует всего около 4 % этого сырья [6, 7].

Тонкодисперсные минеральные добавки могут воздействовать на процесс гидратообразования и структурообразование при твердении вяжущих веществ. Взаимодействие частиц минеральных добавок с формирующимся цементным камнем происходит на поверхности, по которой они соприкасаются. Важное значение имеет тип химической связи в веществах, образующих минеральную добавку, и минералах цементного клинкера [3–5, 8]. Для выбора добавок важными, по нашему мнению, являются энергетические характеристики, такие как энтальпия образования соединений и их энтропия. По мнению ряда ученых [3, 4, 9–11], из числа добавок, которые могут быть использованы для улучшения свойств цементного камня, а следовательно, и всех искусственных конгломератов на основе портландцемента, наиболее близкими к клинкерным соединениям значениями обладают известняк, диопсид и волластонит, т.е. в данном случае следует ожидать хорошую энергетическую совместимость минеральных добавок и цементного камня.

По термодинамическим характеристикам, а также химическому средству с клинкерными минералами цемента целесообразно выбрать карбонатную добавку из известняка [4]. Данное соединение образуется в цементном камне раствора при карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [4, 7]. В отсутствие известняка портландит формируется в виде равномерно распределенных кристаллов. Авторами [7, 12] показано, что между гидроксидом кальция и известняком могут проходить поверхностные реакции, упрочняющие связь между составляющими бетона. Японскими учеными [13] установлено, что известняк способен замедлять схватывание цементного теста за счет участия карбоната кальция в процессах гидратации цементных фаз.

В данной работе предлагается заменить известковое тесто на гидратную известь. Как показал литературный обзор, влияние гидратной извести на свойства растворной смеси и раствора изучено недостаточно.

Таким образом, целью работы явилась разработка научно обоснованных составов кладочного раствора для устройства стен из мелкоштучных керамических материалов, обладающих повышенной водоудерживающей способностью, прочностью и водостойкостью, с использованием тонкодисперсных добавок в виде карбоната кальция и извести-пушонки.

Исследуемые материалы и методики измерений. При проведении исследований использовались следующие сырьевые материалы:

– портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н Топкинского цементного завода (ГОСТ 31108–2003). Минералогический состав цемента, мас. %: C_3S – 61,0; C_2S – 14,5; C_3A – 7,4; C_4AF – 12,3; $\text{CaO}_{\text{своб}}$ – 0,52;

– песок (ГОСТ 8736–93) ОАО «Камнереченский каменный карьер», минеральный состав, мас. %: кварц 80–90, полевого шпата 10–20. Естественная влажность 6–7 %. Истинная плотность зерен 2650 кг/м³, насыпная плотность песка 1400 кг/м³. Содержание илистых, глинистых и пылевидных примесей 5 %;

– гидратная известь второго сорта (ГОСТ 9179–1997) ОАО «Искитимизвесть» (Новосибирская область), содержащая активных оксидов (СаО + MgO) 70 %;

– измельченный известняк (г. Искитим, Новосибирская область), отход горно-добывающей промышленности. Химический состав известняка, мас. %: СаО – 54,48; MgO – 0,45; Fe₂O₃ – 0,55; Al₂O₃ – 0,22; SiO₂ – 0,95; SO₃ – 0,27; потери при прокаливании 43,08. Удельная поверхность молотого известняка 400 м²/кг, насыпная плотность 1400 кг/м³, истинная плотность 2800 кг/м³. Средний диаметр частиц 27 мкм.

Удельную поверхность молотого известняка определяли на приборе ПСХ-4 и лазерной гранулометрией, а свойства растворной смеси (водоудерживающая способность) и раствора (прочность на сжатие) – в соответствии с ГОСТ 5802–86. Отформованные образцы-кубы размером 70,7×70,7×70,7 мм твердели 28 сут в камере при температуре 20–22 °С и относительной влажности воздуха 60 %. Образцы испытывали в состоянии естественной влажности и в водонасыщенном состоянии.

При исследовании водоудерживающей способности растворной смеси, прочности и водостойкости раствора готовили растворную смесь с подвижностью (осадкой конуса) 8 см следующего состава: вяжущее вещество 310 кг, песок 1400 кг. Количество гидратной извести-пушонки изменялось от 0 до 30 %. Количество воды подбирали таким образом, чтобы обеспечивалась подвижность 8–9 см.

Растворную смесь готовили следующим образом. Сначала смешивали сухие компоненты (портландцемент, тонкодисперсная минеральная добавка (известняк), гидратная известь, песок), затем вводили необходимое количество воды. После чего растворную смесь тщательно перемешивали.

Результаты экспериментов и их анализ. На первом этапе изучали влияние тонкодисперсной минеральной добавки (карбоната кальция) на водоудерживающую способность растворной смеси и прочность при сжатии раствора. Для этого исследована смесь и раствор, который изготавливался без добавок и с добавкой тонкодисперсного известняка в количестве 2, 5, 7, 9 и 11 % от массы портландцемента.

Результаты влияния тонкодисперсного известняка на водоудерживающую способность растворной смеси и на прочность при сжатии приведены в табл. 1.

Анализ экспериментальных данных показал, что при введении тонкодисперсной минеральной добавки повышается водоудерживающая способность растворной смеси. Наибольшей водоудерживающей способности удалось достичь при добавлении 9 % тонкодисперсного известняка, водоудерживающая способность при этом увеличилась на 6 %. Наибольшее упрочнение раствора получено при добавлении 7 % тонкодисперсной добавки, прочность при сжатии раствора возросла на 15 %.

Таблица 1. Влияние количества тонкодисперсной минеральной добавки на водоудерживающую способность растворной смеси и на прочность при сжатии раствора

Количество тонкодисперсного известняка, % от массы портландцемента	Водоудерживающая способность растворной смеси	Продолжительность твердения, сут		
		3	7	28
0	65	16,1	30,4	43,2
2	65	16,7	31,9	45,2
5	66	17,7	33,5	47,8
7	68	18,5	35,0	49,7
9	69	17,1	33,1	47,0
11	65	16,3	31,0	43,6

На втором этапе изучали влияние гидратной извести на свойства растворной смеси и раствора. Для этого исследована смесь и раствор, который изготавливался без добавок и с добавкой гидратной извести в количестве 15, 20, 25 и 30 % массы портландцемента.

Результаты влияния гидратной извести на водоудерживающую способность растворной смеси и на прочность при сжатии приведены в табл. 2.

Таблица 2. Влияние количества гидратной извести на водоудерживающую способность растворной смеси и на прочность при сжатии раствора

Количество гидратной извести, % от массы портландцемента	Водоудерживающая способность растворной смеси	Продолжительность твердения, сут		
		3	7	28
0	65	16,1	30,4	43,2
15	79	7,1	15,8	22,5
20	81	3,4	8,5	13,1
25	83	2,4	7,0	11,6
30	84	1,6	5,4	9,7

Анализ экспериментальных данных показал, что при введении гидратной извести водоудерживающая способность растворной смеси повышается. Наибольшей водоудерживающей способности удалось достичь при добавлении 30 % гидратной извести, водоудерживающая способность увеличилась на 29 %.

Анализ влияния количества гидратной извести на прочность при сжатии раствора показал, что при увеличении количества добавки прочность при сжатии раствора снижается. Таким образом, тонкодисперсная карбонатная добавка на водоудерживающую способность растворной смеси оказывает незначительное влияние, тогда как при введении гидратной извести водоудерживающая способность растворной смеси увеличивается на 29 %. В то же время введение гидратной извести в растворную смесь резко снижает прочность при сжатии раствора. Совместное влияние этих добавок на свойства растворной смеси и раствора изучалось на третьем этапе.

Таблица 3. Водоудерживающая способность растворной смеси в зависимости от количества дисперсной минеральной добавки, % от массы портландцемента

Количество дисперсной минеральной добавки	Содержание гидратной извести в вяжущем				
	0	15	20	25	30
0	65	79	81	83	84
2	65	80	82	84	85
5	66	81	83	85	86
7	68	83	85	86	88
9	69	84	87	88	90
11	65	80	82	82	84

Результаты влияния содержания гидратной извести в цементно-известковом вяжущем и количества тонкодисперсной минеральной добавки на водоудерживающую способность растворной смеси представлены в табл. 3 и на рис. 1; на прочность раствора в зависимости от продолжительности твердения – на рис. 2 и в табл. 4.

Результаты влияния количества гидратной извести в цементно-известковом вяжущем и количества тонкодисперсной минеральной добавки на водостойкость раствора представлены на рис. 3 и в табл. 5.

Анализ экспериментальных данных показал, что наибольшей водоудерживающей способности растворной смеси удалось достичь при введении 9 % тонкодисперсного известняка и 30 % гидратной извести. Водоудерживающая способность смеси составляет 90 %. Благоприятное влияние тонкодисперсных карбонатных добавок на снижение водоотделения портландцементом, вероятно, можно объяснить образованием в начальный период повышенного количества продуктов гидратации [7, 8], находящихся в коллоидном состоянии и обладающих высокой водоудерживающей способностью. Введение тонкодисперсной минеральной добавки повышает прочность при сжатии раствора. Наибольшее повышение прочности

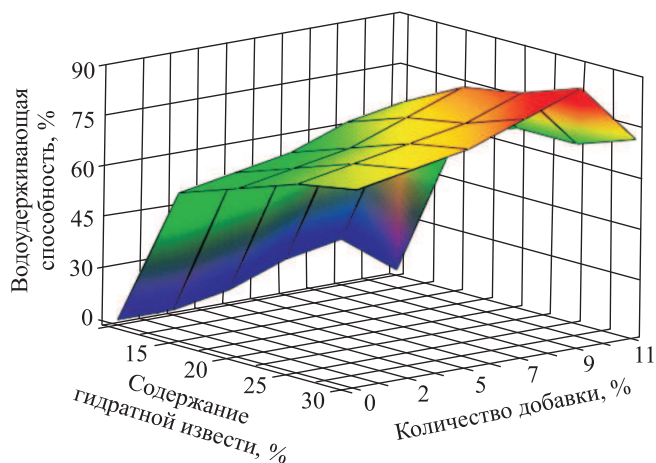


Рис. 1. Влияние содержания гидратной извести в вяжущем и количества тонкодисперсной минеральной добавки на водоудерживающую способность растворной смеси

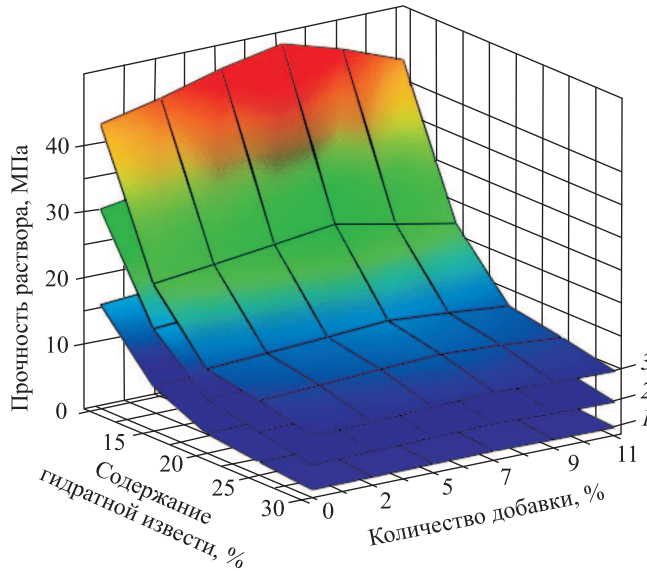


Рис. 2. Влияние содержания гидратной извести в вяжущем и количества дисперсной минеральной добавки на прочность раствора, твердевшего в течение
1 – 3 сут; 2 – 7 сут; 3 – 28 сут

Таблица 4. Прочность раствора (МПа) в зависимости от содержания гидратной извести в вяжущем и количества тонкодисперсной минеральной добавки, % от массы портландцемента

Содержание гидратной извести в вяжущем	Количество дисперсной минеральной добавки					
	0	2	5	7	9	11
<i>Твердение в течение 3 сут</i>						
0	16,1	16,7	17,7	18,5	17,1	16,3
15	7,1	7,3	7,5	8,1	7,4	7,0
20	3,4	3,5	3,7	3,8	3,5	3,3
25	2,4	2,5	2,6	2,7	2,6	2,2
30	1,6	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6
<i>Твердение в течение 7 сут</i>						
0	30,4	31,9	33,5	35,0	33,1	31,0
15	15,8	16,4	17,3	18,0	17,1	16,0
20	8,5	8,9	9,3	9,6	9,2	8,6
25	7,0	7,2	7,6	7,8	7,4	7,1
30	5,4	5,5	5,7	5,9	5,6	5,5
<i>Твердение в течение 28 сут</i>						
0	43,2	45,2	47,8	49,7	47,0	43,6
15	22,5	23,6	24,7	25,9	24,1	22,3
20	13,1	13,6	14,1	14,7	14,1	13,2
25	11,6	12,1	12,6	13,5	12,5	11,8
30	9,7	9,9	10,4	10,7	10,3	10,1

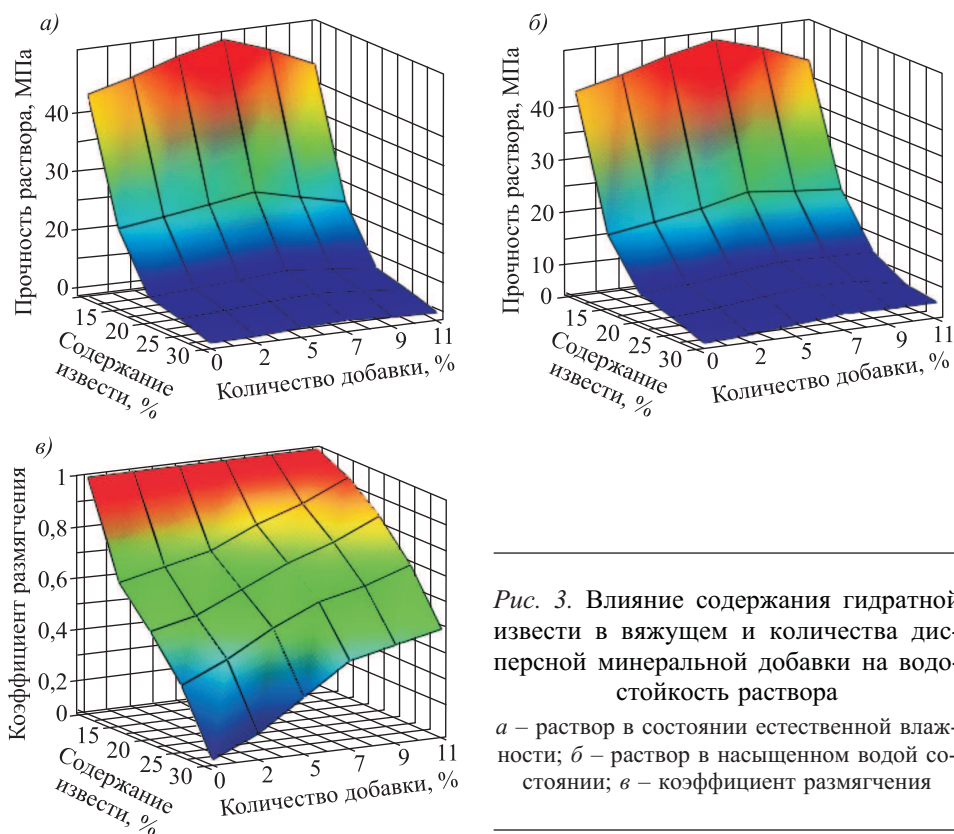


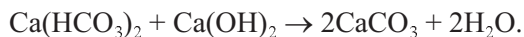
Рис. 3. Влияние содержания гидратной извести в вяжущем и количества дисперсной минеральной добавки на водостойкость раствора

а – раствор в состоянии естественной влажности; б – раствор в насыщенном водой состоянии; в – коэффициент размягчения

достигнуто при введении 7 % известняка. Прочность при содержании гидратной извести в количестве 15 % увеличивается на 15 %; при 20 % на 13 %; при 25 % на 12 %; при 30 % на 10 %.

Полученные данные по водостойкости показали, что введение тонкодисперсной минеральной добавки увеличивает водостойкость раствора. Добавление 7 % известняка позволяет получить водостойкий раствор, содержащий 25 % гидратной извести.

Активность минеральных добавок, вводимых в состав портландцемента и участвующих в кислотно-основном взаимодействии, оценивается в основном по их способности связывать гидроксид кальция из его насыщенного раствора [10]. По мнению ряда ученых [7, 8], взаимодействие известняка с водой представляет собой процесс гидrolитического разложения солей, образованных сильным основанием и слабой кислотой, в результате чего образуются гидрокарбонаты кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, способные взаимодействовать с гидроксидом кальция по реакции



Кроме указанных соединений при наличии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ возможно образование новой фазы в виде соединения $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – минерала деферрита.

По литературным данным об активном взаимодействии карбонатных пород с гидроксидом кальция, с гидроксидами и карбонатами щелочных металлов [7, 8, 14] можно констатировать, что карбонатные добавки могут

Таблица 5. Прочность раствора (МПа) в зависимости от содержания гидратной извести в вяжущем и количества тонкодисперсной минеральной добавки, % от массы портландцемента

Содержание гидратной извести в вяжущем	Количество дисперсной минеральной добавки					
	0	2	5	7	9	11
<i>Раствор в состоянии естественной влажности</i>						
0	43,2	45,3	47,8	49,7	47,0	43,6
15	22,6	23,6	24,7	25,9	24,1	22,3
20	13,1	13,6	14,1	14,8	14,1	13,2
25	11,7	12,1	12,6	13,1	12,5	11,8
30	9,7	9,9	10,4	10,7	10,3	10,1
<i>Раствор в насыщенном водой состоянии</i>						
0	43,2	45,3	47,8	49,7	47,0	43,6
15	18,5	19,8	21,3	23,3	22,4	21,6
20	9,8	10,5	11,4	12,5	12,4	12,2
25	7,8	8,6	9,6	10,4	10,3	8,6
30	5,4	5,8	6,7	7,6	7,5	7,6
<i>Коэффициент размягчения</i>						
0	1	1	1	1	1	1
15	0,82	0,84	0,86	0,90	0,93	0,97
20	0,75	0,77	0,81	0,85	0,88	0,92
25	0,67	0,71	0,76	0,80	0,82	0,85
30	0,55	0,59	0,65	0,71	0,73	0,75

связывать большую часть гидроксида кальция, выделяющегося при гидролизе минералов-силикатов в твердеющем цементе [13, 15]. Значительная часть образующегося при этом гидрокарбоната кальция может взаимодействовать с гидросиликатами кальция с образованием гидрокарбосиликатов кальция и гидроалюминатами кальция с образованием гидрокарбоалюмината кальция [16].

Таким образом, эффективность действия известняка обусловлена его химическим взаимодействием с клинкерными минералами и продуктами их гидратации и гидратной известью и влиянием известняка на контактную зону системы.

Заключение. В результате исследования влияния карбонатных добавок на водоудерживающую способность растворной смеси установлено, что с увеличением содержания гидроксида кальция и карбоната кальция водоудерживающая способность возрастает. Наибольшую водоудерживающую способность имеет растворная смесь, содержащая 30 % гидратной извести и 9 % дисперсного известняка. Водоудерживающая способность смеси составляет 90 %. Благоприятное влияние карбонатных добавок на снижение водоотделения портландцементов, вероятно, можно объяснить образованием в начальный период повышенного количества продуктов гидратации, находящихся

в коллоидном состоянии и обладающих высокой водоудерживающей способностью.

При изучении влияния тонкодисперсного карбоната кальция (известняка) на свойства растворной смеси и раствора установлено, что при введении 9 мас. % происходит увеличение водостойкости раствора до 69 %. Оптимальная дозировка дисперсного известняка с точки зрения обеспечения максимальной прочности искусственного камня составляет 7 мас. %, что определяется его воздействием на процесс гидратации цемента и формированием контактной зоны между частицами карбонатной добавки и цементным камнем.

На основании исследований, направленных на улучшение технико-экономических показателей раствора, можно рекомендовать данный кладочный состав для использования при возведении стен зданий из мелкоштучных цементных, керамических или каменных изделий.

Для кладочного раствора целесообразен следующий состав на 1 м³, кг:

- портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н – 310,0;
- песок – 1400,0;
- гидратная известь второго сорта – 77,5;
- измельченный известняк – 21,7.

При таком составе кладочная смесь будет обладать водоудерживающей способностью – 86,0 %, подвижностью – 9,0 см, расслаиваемостью – 0,1 %. Раствор, полученный на такой растворной смеси, будет иметь прочность при сжатии 13,5 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимашев В.В., Колбасов В.М. Свойства цементов с карбонатными добавками // Цемент. 1981. № 10. С. 10–12.
2. Нисневич М.Л., Сиротин Г.А. Использование отсевов дробления горных пород в технологии бетона // Строит. материалы. 2007. № 11. С. 8–9.
3. I l i n a L., M u k h i n a I. and T e p l o v A. Dry building mixrure with complex dispersed mineral additives // AIP Publishing. Advanced Materials in Technology and Construction. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists “Advanced Materials in Technology and Construction”, 2016. Vol. 1698. P. 070001.
4. И л ь и н а Л.В. Повышение эксплуатационных характеристик строительных материалов на основе цемента длительного хранения: Дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: НГАСУ, 2011. 351 с.
5. Г а й с Н.И. Повышение прочности материалов на основе портландцемента введением высокодисперсных минеральных добавок: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. Томск: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2014. 18 с.
6. К о к у н ь к о В.К. Создание и развитие сырьевой базы строительных материалов на основе попутнодобываемых пород и отходов горно-рудных предприятий // Строит. материалы. 1994. № 4. С. 4–6.
7. В о л о д ч е н к о А.А., З а г о р о д н ю к Л.Х., П р о с о л о в а Е.О., А х м е д А.А., К у л и к Н.В. Проблема рационального природопользования // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 7–10.
8. Ш а х о в а Л.Д., К у ч е р о в Д.Е. Микроструктура композиционных цементов // Цемент и его применение. 2010. № 5. С. 65–68.

9. Henning O., Kudyakow A. Einfluss von Calcit auf die Hhydratation von Portlandzement // Wissenschaftliche Zeitschrift der HAB. Weimar, 1983. 28Y. H1. S. 75–77.
10. Козлова В.К., Маноха А.М., Лихошерстов А.А., Мануйлов Е.В., Малова Е.Ю. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов // Цемент и его применение. 2012. № 3. С. 53–57.
11. Бартењева Е.А., Машкин Н.А. Неавтоклавный пенобетон с минеральными добавками // Современное строительство и архитектура. 2017. № 1. С. 15–17.
12. Hoshino S., Seiichi Hoshino, Kazuo Yamada, Hiroshi Hirao. XRD/Rietveld analysis of the hydration and strength development of slag and limestone // Blended Cement Journal of Advanced Concrete Technology. 2006. Vol. 4. No. 3. P. 357–367.
13. Мешков В.И. Реология модифицированных строительных растворов // Современные технологии сухих смесей в строительстве. СПб., 2000. С. 54–59.
14. Бобрышев А.А. Отделочные клеевые растворы на основе сухих смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок: Дис. канд. техн. наук. Пенза: ПГУАС, 2003. 204 с.
15. Кудяков А.И., Анканова Л.А., Копаница Н.О., Герасимов А.В. Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов // Строит. материалы. 2000. № 11. С. 28–29.
16. Кудяков А.И., Белых С.А., Даминова А.М. Сухие строительные смеси с гранулированными органоминеральными воздухововлекающими добавками // Вестн. ТГАСУ. 2009. № 3. С. 101–110.

Ильина Лилия Владимировна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: nsklika@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Кудяков Александр Иванович, д-р техн. наук, проф.;
E-mail: kudyakow@mail.tomsknet.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Туляганов Александр Константинович, инж.; E-mail: klinker@bk.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 06.11.2019

Il'ina Liliya Vladimirovna, DSc, Professor; E-mail: nsklika@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Kudyakov Aleksandr Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: kudyakow@mail.tomsknet.ru
Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia
Tulyaganov Aleksandr Konstantinovich, Engineer; E-mail: klinker@bk.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CEMENT SOLUTIONS WITH FINE MINERAL ADDITIVES

The results of research on the development of the composition of the solution for masonry aboveground structures at a relative humidity of the air of the premises both up to and over 60 % are presented. It was found that when adding a solution of fine calcium carbonate, waste from the mining industry, in an amount of 7 % of the weight of cement, the strength of the solution at the 28-day age of normal hardening increases by 15 %. With the introduction of a combined carbonate additive consisting of 9 % fine limestone and 30 % hydrated lime, the water-holding capacity of the solution mixture increases by 38,5 %. The introduction of 7 % fine calcium carbonate makes it possible to obtain a water-resistant solution containing 25 % hydrated lime. The strength of the solution is 13,5 MPa.

Keywords: carbonate additives, fine additives, hydrated lime, solution, solution mixture, water-holding capacity, compressive strength, water resistance.

REFERENCES

1. Timashev V.V., Kolbasov V.M. Svoystva tsementov s karbonatnymi dobavkami [Properties of cements with carbonate additives]. Tsement [Cement]. 1981. No. 10. Pp. 10–12. (in Russian)
2. Nisnevich M.L., Sirotnin G.A. Ispol'zovanie otsefov drobleniya gornykh porod v tekhnologii betona [The use of screenings of rocks crushing in the technology of concrete]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2007. No. 11. Pp. 8–9. (in Russian)
3. Ilina L., Mukhina and I. Teplov A. Dry building complex mixture with dispersed mineral additives. AIP Publishing. Advanced Materials in Technology and Construction/ Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction", 2016. Vol. 1698. P. 070001.
4. Ilina L.V. Povyshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik stroitel'nykh materialov na osnove tsementa dlitel'nogo khraneniya: Dis. doktora tekhn. nauk [Improving the performance of construction materials based on long-term storage cement: Doktor's thesis]. Novosibirsk: NGASU, 2011. 351p. (in Russian)
5. Gays N.I. Povyshenie prochnosti materialov na osnove portlandtsementa vvedeniem vysokodispersnykh mineral'nykh dobavok: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Increasing the strength of materials based on Portland cement by introducing highly dispersed mineral additives: Extended abstract of candidate's thesis]. Tomsk, 2014. 18 p. (in Russian)
6. Kokun'ko V.K. Sozdanie i razvitie syr'evoy bazy stroitel'nykh materialov na osnove poputnodobyvaemykh porod i otkhodov gorno-rudnykh predpriyatiy [Creation and development of the raw material base of construction materials based on associated rocks and waste of mining enterprises]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 1994. No. 4. Pp. 4–6. (in Russian)
7. Volodchenko A.A., Zagorodnyuk L.H., Prosolova E.O., Akhmed A.A., Kulik N.V. Problema ratsional'nogo prirodopol'zovaniya [The problem of rational nature management]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bull. BSSTU]. 2014. No. 6. Pp. 7–10. (in Russian)
8. Shahova L.D., Kuchеров D.E. Mikrostruktura kompozitsionnykh tsementov [Microstructure of composite cements]. Tsement i ego primenenie [Cement and its application]. 2010. No. 5. Pp. 65–68. (in Russian)
9. Henning O., Kudryakov A. Einfluss von Calcit auf die Hydratation von Portlandzement // Wissenschaftliche Zeitschrift der HAB. Weimar, 1983. 28Y. H1. S. 75–77.
10. Kozlova V.K., Manoha A.M., Lihosherstov A.A., Manuylov E.V., Malova E.Yu. Vliyanie karbonatsoderzhashchikh dobavok na svoystva kompozitsionnykh tsementov [Influence of carbonate-containing additives on the properties of composite cements]. Tsement i ego primenenie [Cement and its application]. 2012. No. 3. Pp. 53–57. (in Russian)
11. Barten'eva E.A., Mashkin N.A. Neavtoklavnyy penobeton s mineral'nymi dobavkami [Non-Autoclaved foam concrete with mineral additives]. Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura [Modern construction and architecture]. 2017. No. 1. Pp. 15–17. (in Russian)
12. Hoshino S., Seiichi Hoshino, Kazuo Yamada, Hiroshi Hirao. XRD/Rietveld Analysis of the Hydration and Strength Development of Slag and Limestone. Blended Cement Journal of Advanced Concrete Technology. 2006. Vol. 4, No. 3. Pp. 357–367.
13. Meshkov V.I. Reologiya modifitsirovannykh stroitel'nykh rastvorov [Rheology of modified building solutions]. Sovremennye tekhnologii sukhikh smesey v stroitel'stve [Modern technologies of drymixes in construction]. St. Petersburg, 2000. Pp. 54–59. (in Russian)

14. Bobryshev A.A. Otdelochnye kleevye rastvory na osnove sukhikh smesey s ispol'zovaniem kompleksnykh poroshkovykh polimernykh dobavok: Dis. kandidata tekhn. nauk [The Finishing adhesive solution on the basis of dry mixes with the use of a complex powder of polymer additives: Candidate's thesis]. Penza: PGUAS, 2003. 204 p. (in Russian)
 15. Kudyakov A.I., Anikanova L.A., Kopanitsa N.O., Gerasimov A.V. Vliyaniye zernovogo sostava i vida napolniteley na svoystva stroitel'nykh rastvorov [Influence of grain composition and type of fillers on the properties of construction materials]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2000. No. 11. Pp. 28–29. (in Russian)
 16. Kudyakov A.I., Belykh S.A., Daminova A.M. Sukhie stroitel'nye smesi s granulirovannymi organomineral'nymi vozdukhovovlekayushchimi dobavkami [Dry mortar with air-entraining granular organic-mineral add-kami]. Vestnik TGASU [Herald of Tomsk State Architectural University]. 2009. No. 3. Pp. 101–110. (in Russian)
-