

Научная статья

УДК 666.9

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-90-99>

CC BY 4.0

Варианты введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$ в цементные композиции

Ирина Васильевна Козлова , Марина Олеговна Дударева* 

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: modudareva@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Модифицирование тонкодисперсными и нанодобавками традиционных материалов на основе минеральных вяжущих является актуальным путем для создания новых функциональных строительных материалов с набором уникальных характеристик. Однако основной трудностью в данном процессе является способ введения тонкодисперсного компонента в объем цементной матрицы и равномерность его распределения: именно однородное распределение частиц добавки в цементном композите способствует повышению физико-механических характеристик, интенсифицирует гидратацию минералов цементного клинкера, приводит к получению более прочной и плотной структуры цементного камня. К основным способам введения добавок в состав цемента можно отнести совместный помол, сухое смешивание перед затворением цементного порошка водой, введение стабилизированной суспензии добавки вместо воды затворения. Таким образом, целью настоящей работы было сравнение вариантов введения добавок на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$, способной придать цементному композиту улучшенные физико-механические и структурные характеристики и способность к сопротивлению обрастанию плесневыми грибами. Объект исследования – цементные композиции, модифицированные добавкой на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$, полученные по различным методикам. **Материалы и методы.** В рамках данной работы проводили исследования по установлению оптимального способа введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$, для чего на первом этапе изучали фазовый и гранулометрический состав добавки, которую затем вводили в состав цементной композиции несколькими способами: в процессе сухого смешивания компонентов с последующим затворением водопроводной водой, в виде водной суспензии, прошедшей ультразвуковую обработку, в результате затворения сухой смеси цемента и добавки водой с добавлением пластификатора и затворением цемента обработанной ультразвуком водно-полимерной суспензией, после чего исследовали прочностные характеристики, пористость и способность образцов сопротивляться обрастанию плесневыми грибами. **Результаты.** В результате проведенного исследования авторы пришли к выводу, что наиболее высокие физико-механические характеристики цементному камню можно придать, вводя добавку в виде стабилизированной водно-полимерной суспензии. Данный метод способствует формированию более прочной и плотной структуры цементного камня, причем прирост прочности составляет 31, 38 и 44,8% в первые сутки, 28, 30 и 32% в третьи сутки и 2,4, 9,0 и 14% в марочном возрасте относительно контрольного образца, содержащего цемент, воду и пластификатор. Установлено, что наиболее высокие результаты по прочности показал образец, содержащий стабилизированную суспензию добавки с концентрацией 50 г/л. Результаты исследования пористости структуры цементного камня данного образца показали ее снижение в первые сутки по отношению к контрольному образцу с пластификатором на 13%, в 28 суток твердения – на 10%. Проведенные исследования на грибостойкость образцов, модифицированных добавкой в количестве 50 г/л (1,7% от массы цемента), демонстрируют, что этот состав не подвергся обрастанию плесневыми грибами. **Заключение.** В результате проведенных исследований авторы пришли к выводу, что оптимальным способом введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$ является затворение цемента стабилизированной водно-полимерной суспензией добавки, в результате чего формируется более прочная и плотная структура цементного камня, особенно в ранние сроки гидратационного твердения, способного также сопротивляться биообрастанию плесневыми грибами. Таким образом, авторы пришли к выводу, что цементные композиции, полученные данным способом, могут применяться в качестве ремонтных составов для заделки швов и затирок во влажных затененных помещениях, где складываются благоприятные условия для роста и размножения плесневых грибов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тонкодисперсная добавка, система $TiO_2-Bi_2O_3$, ультразвуковая обработка, суспензия, сухое смешивание, пластификатор, прочность, грибостойкость.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Козлова И.В., Дударева М.О. Варианты введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$ в цементные композиции // Нанотехнологии в строительстве. 2024. Т. 16, № 2. С. 90–99. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-16-2-90-99>. – EDN: PIPYZF.

© Козлова И.В., Дударева М.О., 2024

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы индустрия производства строительных материалов выходит на новый уровень, предлагая новые материалы с набором уникальных характеристик, значительно превосходящих свойства привычных строительных материалов. Новые решения в области науки позволяют создавать долговечные, экологически безопасные инновационные материалы с функцией самовосстановления, способностью к самоочищению поверхности, рекордными физико-механическими показателями [1–4]. Отдельная немаловажная роль при создании таких материалов отводится модифицированию, которое может заключаться в изменении свойств поверхности, достигаемое при помощи различных видов обработки, в воздействии на внутреннюю морфологию материала путем введения тонкодисперсных частиц и нанобъектов, в формировании новых композитных систем, выгодно сочетающих различные структурные особенности составляющих частей для получения высокофункционального материала. Бетон и материалы на основе цемента продолжают занимать лидирующую роль в строительстве по объему производства и применения, однако при помощи введения модифицирующих добавок в состав цементного композита можно создать инновационные материалы нового поколения. Поиску, синтезу и исследованию способов введения тонкодисперсных добавок органического и неорганического происхождения посвящено большое количество научных трудов в России и за рубежом. Исследовано влияние тонкодисперсных гранулированных доменных шлаков [5, 6], золы уноса [7, 8], микрокремнезема [9–11], метакаолина [12, 13] в качестве активных минеральных добавок для цементных систем, позволяющих управлять процессами гидратации частиц минералов цементного клинкера для получения более плотной и прочной структуры цементного камня. Изучено воздействие углеродных наноструктурированных объектов [14, 15], нано- и тонкодисперсных частиц оксидов железа, титана, цинка и алюминия, синтезированных по золь-гель технологии, на цементную матрицу, также улучшающих характеристики материала [16–18]. Тонкодисперсные добавки присутствуют в составе цементного композита в количествах, не превышающих, как правило, 1–10%, при этом существенное воздействие на конечные свойства материала оказывает способ введения добавки: к наиболее простым и распространенным вариантам можно отнести метод совместного помола добавки с минералами цементного клинкера, способ сухого смешивания добавки с порошком минерального вяжущего с последующим затворением полученной сухой смеси водой и получение

стабилизированной суспензии частиц добавки, которая может использоваться вместо воды затворения. Стабилизация суспензий может достигаться за счет добавления химических веществ — органических стабилизаторов, которые адсорбируются на поверхности частиц добавки, формируя прочные объемные гелеобразные пленки, не дающие частицам слипаться, и оседать, и сохраняться во взвешенном состоянии в объеме суспензии. Также суспензии часто подвергают механической — ультразвуковой обработке, эффект от которой заключается в дополнительном дроблении и измельчении частиц добавки, а также интенсифицировании процессов адсорбции макромолекул стабилизатора на активных центрах поверхности частиц [19]. Химическая и механическая обработка суспензии приводит к более равномерному распределению частиц не только в объеме суспензии, но и в сформированной структуре цементного камня. Однако такой способ, несомненно, можно назвать более трудным и энергозатратным по сравнению, например, с простым сухим смешиванием компонентов — более легким, быстрым и дешевым вариантом, который в то же время имеет свои недостатки: при обыкновенном перемешивании перед добавлением воды затворения значительно труднее достичь равномерного распределения частиц добавки в объеме цементного порошка и, как следствие, в структуре цементного камня. В статье [20] рассматриваются различные варианты способов введения перлита в цементные системы, результаты работы демонстрируют максимальный прирост прочности образцов именно при затворении цемента стабилизированной суспензией добавки. Тем не менее, оба способа имеют право на существование в зависимости от цели и сферы применения получаемого строительного материала типа добавки.

Таким образом, была определена цель данного исследования, которая заключается в рассмотрении вариантов введения тонкодисперсной добавки титаната висмута в состав цемента и проведен анализ полученных результатов исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для получения образцов цементного камня в данной работе использовали цемент ЦЕМ 0 000 «Холсим (Рус) Строительные Материалы», химический и минералогический состав которого представлен в табл. 1 и 2, добавку на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$, синтезированную по твердофазной технологии, для стабилизации тонкодисперсных частиц добавки применяли поликарбоксилатный пластификатор Melflux 5581F (BASF, Германия) (далее — Sp) и диспергатор ультразвуковой УЗДН-1 (44 кГц). Характеристика пластификатора представлена в табл. 3.

Таблица 1

Химический состав клинкера ООО «Холсим (Рус) Строительные Материалы»

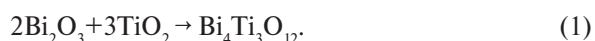
Компоненты	ППП	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O
Клинкер	1,12	63,89	20,63	5,62	5,15	3,68	0,59	1,36

Таблица 2

Минералогический состав клинкера ООО «Холсим (Рус) Строительные Материалы»

Содержание минералов, %			
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
63,0	11,0	6,00	15,00

Добавку синтезировали по твердофазной реакции из соответствующих оксидов Bi₂O₃ (ч.) и TiO₂ (ос.ч.) по уравнению реакции:



Расчитанные по уравнению реакции (1) количества веществ взвешивали на аналитических весах, перетирали в агатовой ступке с добавлением изопропилового спирта для улучшения гомогенизации, прессовали в круглые таблетки d = 1,0 см (рис. 1а) и отжигали постадийно в муфельной печи с промежуточными перешихтовками в температурном диапазоне 650–800°C, суммарное время отжига составило 15 часов.

Фазовый состав добавки определяли с помощью рентгеновского дифрактометра D8 ADVANCE Bruker AXS CuKα – излучения (графитовый монохроматор), λCuKα = 1.54056 Å, рентгенограмма полученной добавки после финальной стадии отжига представлена на рис. 1б, которая позволяет заключить, что преобладающей фазой является титанат висмута состава

Bi₄Ti₃O₁₂, не исключено присутствие неизвестных фаз в небольших количествах.

Гранулометрический состав добавки изучали при помощи прибора Analysette 22 NanoTec (Fritch, Германия), график распределения частиц по размерам приведен на рис. 2а. Размер и морфологию частиц добавки позволяет оценить микрофотография, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа «Tescan Vega 3» (рис. 2б): частицы имеют неправильную оскольчатую форму, максимальный размер составляет 50 мкм.

Добавку вводили в состав цементного композита четырьмя способами:

1) сухим смешиванием цемента и добавки с последующим затворением сухой смеси водопроводной водой;

2) затворением цемента стабилизированными с помощью ультразвуковой обработки (далее – УЗО) водными суспензиями добавки;

3) сухим смешиванием цемента и добавки с последующим затворением сухой смеси водопроводной водой, содержащей 1,2 г/л пластификатора;

4) затворением цемента стабилизированными с помощью ультразвуковой обработки водно-полимерными суспензиями добавки.

Для получения сухой смеси вводилась добавка титаната висмута в количестве 0,3; 1,0; 1,7%. Для приготовления суспензий использовалась добавка титаната висмута в количествах 10, 30, 50 г/л, эквивалентных 0,3; 1,0; 1,7% добавки при сухом смешивании.

Таблица 3

Характеристика пластификатора Melflux 5581F

Показатель	Требования
Внешний вид	Однородный порошок светло-желтого цвета
Потеря массы при высушивании, %	≤ 2,0
Насыпная плотность, кг/м ³	300–550
pH в 20%-ом растворе	6,5–8,5
Дозировка, % от массы вяжущего	0,03–0,5
Преимущества	– увеличение текучести бетонных и растворных смесей до 10 раз при неизменном В/Т отношении – снижение водопотребности на 30-40% – уменьшение усадки – увеличение ранней прочности цементного камня

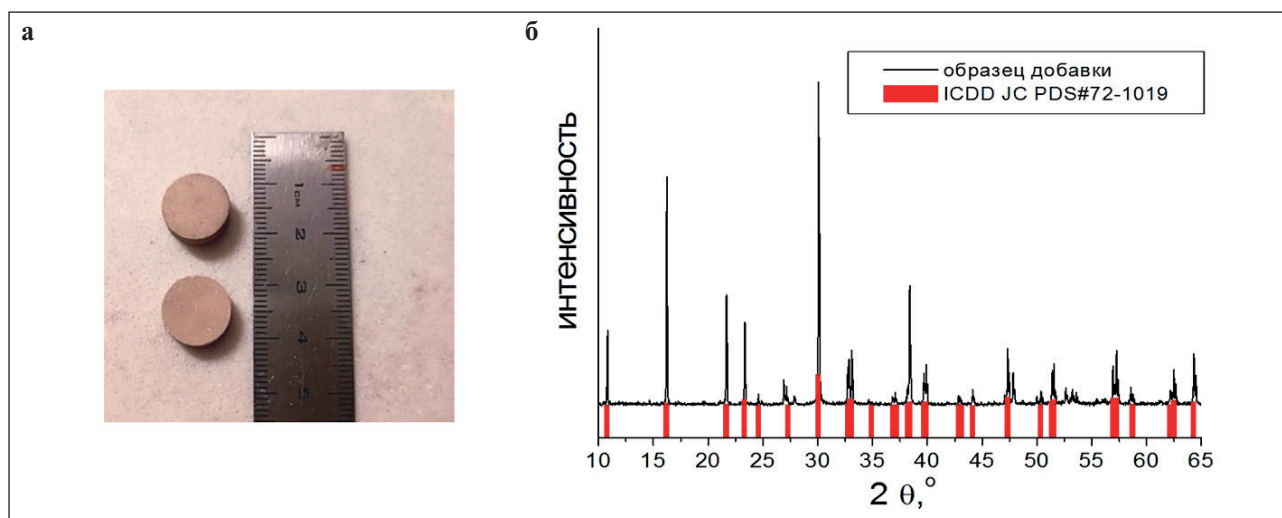


Рис. 1. а) рентгенофазовый анализ добавки б) микрофотография частиц добавки

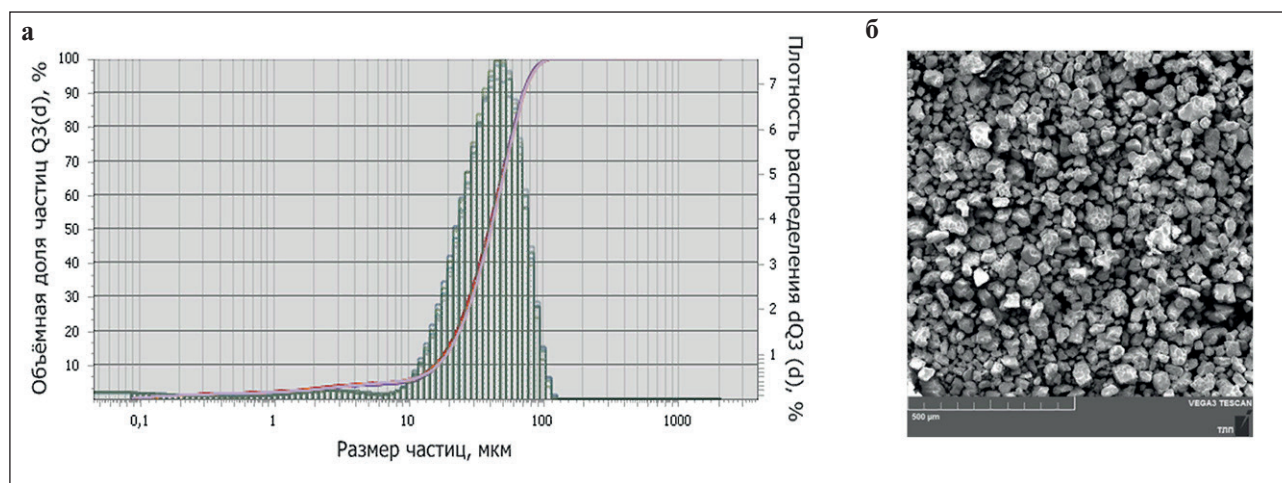


Рис. 2. а) распределение частиц добавки по размерам; б) микрофотография частиц добавки

Ультразвуковая обработка суспензий проводилась в течение 20 мин при температуре диспергирования $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Выбор концентрации пластификатора 1,2 г/л обоснован в ранее опубликованной работе [19].

Строительно-технические свойства цементного теста, модифицированного синтезированной добавкой, изучали в соответствии со стандартными методиками. Для изучения физико-механических характеристик полученных модифицированных образцов цементного камня готовили образцы-кубики $2,0 \times 2,0 \times 2,0$ см, которые затем исследовали на прочность при сжатии на лабораторном гидравлическом прессе Controls.

Определение пористости образцов цемента проводилось пикнометрическим методом, в качестве инертной жидкости использовался керосин.

Также проводили исследования относительно влияния тонкодисперсной добавки на основе системы

$\text{TiO}_2\text{--Bi}_2\text{O}_3$ на грибостойкость образцов цементного композита. Для исследования были получены образцы-кубики $3,0 \times 3,0$ см, изготовленные из цемента, затворенного водными суспензиями добавки, а также контрольные немодифицированные образцы. После гидратационного твердения в течение 28 суток образцы были переданы в Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. Испытания образцов бетонов на стойкость к воздействию плесневых грибов проводили в лаборатории тропических технологий ИПЭЭ РАН по ГОСТ 9.048-89. В соответствии с ГОСТ 9.048-89 поверхность образцов заражали суспензией спор грибов *Aspergillus niger* van Tieghem, *Aspergillus terreus* Thom, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud, *Paecilomyces varioti* Bainier, *Penicillium funiculosum* Thom, *Penicillium ochro-chloron* Biourge, *Scopulariopsis brevicaulis* Bainier, *Trichoderma viride* Pers. Ex Fr. Концентрация спор грибов 1–2 млн/см³.

Образцы, зараженные вышеуказанной суспензией грибов, помещали в открытой чашке Петри в эксикатор и выдерживали в условиях, оптимальных для роста грибов: температуре 27–28°C и влажности 98% в течение 28 суток. По окончании испытаний оценивали стадию развития грибов в баллах по 6-тибальной шкале (ГОСТ 9.048-89):

«0» баллов – абсолютно чистые образцы, отсутствие проросших конидий и развития колоний (визуально и под микроскопом);

«1» балл – визуально чистые образцы, под микроскопом видны лишь мелкие очаги мицелия в виде отдельных пятен, спороношение отсутствует;

«2» балла – поверхностное развитие мицелия в виде многочисленных пятен, спороношение отсутствует;

«3» балла – обильное разрастание мицелия по поверхности образца, начало спороношения;

«4» балла – при визуальном осмотре отчетливо виден сплошной рост мицелия и спороношение;

«5» баллов – глубокое поражение мицелием всей площади образца при интенсивном спороношении.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших факторов, который следует учитывать при введении функциональной добавки в состав цементной композиции, это равномерное распределение ее частиц в объеме цементной матрицы. Как показывает ряд работ [21–23], свойства структурированного тонкодисперсным компонентом цементного камня могут даже ухудшаться по сравнению с контрольным бездобавочным образцом в случае, если это распределение не достигнуто. Одним из наиболее просто осуществимых и дешевых способов введения добавок в цемент является сухое смешивание компонентов с последующим затворением сухой смеси водой. Однако, обладая избыточной поверхностной энергией, нано- и тонкодисперсные частицы добавки проявляют склонность к агрегации, которые препятствуют получению гомогенной смеси цемента и добавки. Избежать этого процесса можно предварительной стадией обработки добавки, получив ее стабилизированную, то есть устойчивую к укрупнению частиц и оседанию суспензию. Придание устойчивости может быть достигнуто совместным действием двух факторов: химического и механического. Первый заключается в добавлении к суспензии поверхностно-активных веществ, которые, адсорбируясь на поверхности частиц добавки, формируют объемные гелеобразные пленки, не позволяющие частицам слипаться и оседать. Второй фактор состоит в ультразвуковой обработке суспензии, которая способствует дополнительному измельчению частиц и усиливает адсорбцию ПАВ

на активных центрах. Совместно эти способы обработки суспензии способствуют более длительному нахождению частиц в объеме суспензии и, как следствие, их гомогенному распределению в составе цементной композиции.

В рамках данного исследования были получены четыре серии цементных композиций, составы которых представлены в табл. 4.

В соответствии с полученными составами, представленными в табл. 4, были определены строительные-технические характеристики цементного теста (табл. 5).

Исследования свойств цементного теста с добавкой, введенной в процессе сухого смешивания компонентов, демонстрируют, что значительного изменения нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста не происходит. Для образцов с содержанием добавки 1,0 и 1,7% (образцы № 3–4) нормальная плотность возросла на 1 и 2%, а сокращение сроков схватывания происходит для образца с содержанием добавки 1,7% (образец № 4).

Затворение цемента суспензиями добавки в концентрациях 10, 30 и 50 г/л (образцы № 6–8) приводит к некоторому возрастанию нормальной плотности цементного теста на 1; 5 и 8% по отношению к контрольному образцу, содержащему только цемент и воду (образец № 1). Нормальная плотность цементного теста при введении добавки в виде суспензии с добавлением пластификатора остается практически неизменной по отношению к контрольному образцу, содержащему только цемент и воду с пластификатором (образец № 5), и снижается на 14% по отношению к образцу, содержащему только цемент и воду (образец № 1). Для образца цементного теста № 14 наблюдается некоторое увеличение значения нормальной плотности и с сокращением сроков схватывания, что, видимо, обусловлено совместным присутствием в системе поликарбоксилата и тонкодисперсной добавки, частицы которой выступают в качестве центров кристаллизации гидратных новообразований. Таким образом, по данным табл. 5 можно сделать вывод о том, что наибольший эффект на свойства цементного теста оказывает стабилизированная водно-полимерная суспензия добавки, введение которой приводит к снижению нормальной плотности цементного теста и сокращению начала и конца сроков схватывания на 30 минут для композиции с содержанием добавки 50 г/л (1,7% от массы цемента).

Далее оценивали физико-механические характеристики образцов модифицированного добавки цементного камня, полученных в результате затворения навески цемента водными и водно-полимерными суспензиями, прошедшими УЗО, а также в процессе сухого смешивания компонентов (рис. 3).

Таблица 4
Составы цементных композиций и способы их получения

№ образца	Способ приготовления	ПЦ	Концентрация добавки в воде затворения, г/л/%	Sp
1	Цемент + вода	+	–	–
2	Сухая смесь + вода	+	10/0,3	–
3		+	30/1,0	–
4		+	50/1,7	–
5	Цемент + вода с пластификатором	+	–	+
6	Цемент + водная суспензия добавки	+	10/0,3	–
7		+	30/1,0	–
8		+	50/1,7	–
9	Сухая смесь + вода с пластификатором	+	10/0,3	+
10		+	30/1,0	+
11		+	50/1,7	+
12	Цемент + водно-полимерная суспензия добавки	+	10/0,3	+
13		+	30/1,0	+
14		+	50/1,7	+

Таблица 5
Строительно-технические характеристики цементного теста

№ образца	Способ приготовления	Нормальная густота, %	Схватывание, ч-мин			
			начало		конец	
1	Цемент + вода	30,2	2	45	3	40
2	Сухая смесь + вода	30,2	2	45	3	40
3		30,5	2	45	3	40
4		30,8	2	35	2	20
5	Цемент + вода с пластификатором	26,0	2	20	3	20
6	Цемент + водная суспензия добавки	30,6	2	35	3	35
7		31,7	2	25	3	30
8		32,5	2	20	3	30
9	Сухая смесь + вода с пластификатором	26,0	2	20	3	20
10		26,0	2	15	3	20
11		26,0	2	10	3	15
12	Цемент + водно-полимерная суспензия добавки	26,0	2	10	3	20
13		26,0	2	10	3	10
14		26,5	2	05	3	05

Как видно из данных, продемонстрированных на рис.3, наиболее высокие прочностные характеристики присущи тем образцам цементного камня, в состав которых добавка вводится в виде прошедшей УЗО водной или водно-полимерной суспензии (рис. 3 б, г). Для образцов, полученных в результате процедуры су-

хого смешивания компонентов, характерны значения прочности на уровне значений контрольного образца, а также нестабильный набор прочности (коэффициент вариации превышает 10% при доверительной вероятности 0,95 и выборке из 6 определений), что косвенно свидетельствует о неравномерности рас-

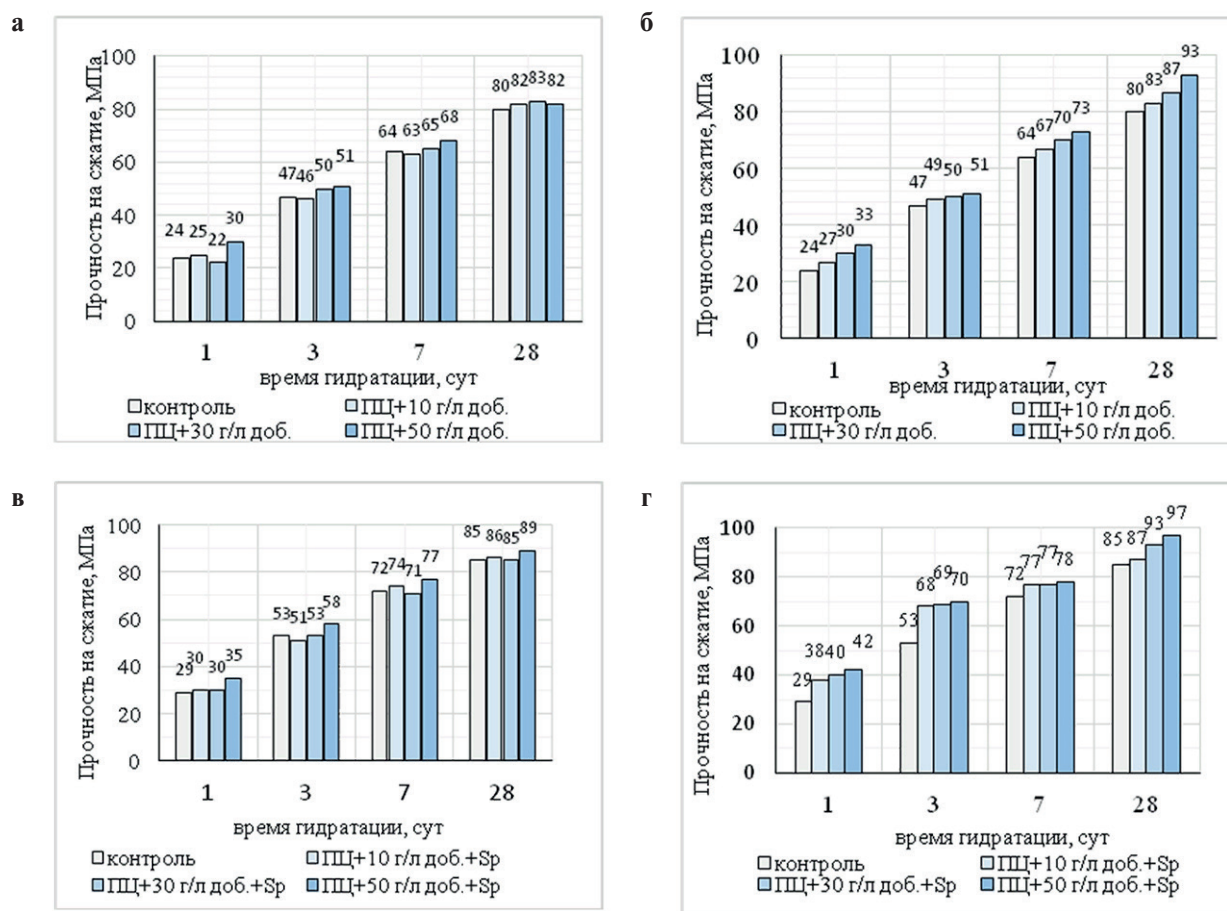


Рис. 3. Зависимость прочности образцов от времени гидратации: а) по I способу – затворение сухой смеси цемента с добавкой воды затворения; б) по II способу – затворение цемента стабилизированной УЗО водной суспензией добавки; в) по III способу – затворение сухой смеси цемента с добавкой воды затворения с пластификатором; г) по IV способу – затворение цемента стаибизированной УЗО водно-полимерной суспензией добавки

пределения частиц добавки в объеме цементного теста и цементного композита. В случае введения водной и водно-полимерной суспензии добавки в цемент вместо воды затворения наблюдается рост прочности модифицированных образцов по сравнению с контрольным образцом во все сроки твердения. Так, прирост прочности образцов по II способу составил 12,5, 25 и 37,5% в 1 сутки твердения, 4, 6 и 8% в 3 сутки, и 3,8, 8,8 и 16% в марочном возрасте относительно образца, содержащего только цемент и воду. Для образцов, приготовленных по IV способу, прирост прочности составляет 31, 38 и 44,8% в первые сутки, 28, 30 и 32% в третьи сутки и 2,4, 9,0; и 14% в марочном возрасте относительно контрольного образца, содержащего цемент, воду и пластификатор. Видно, что максимальный прирост прочности наблюдается в раннем периоде набора прочности.

Также для образцов с содержанием добавки 50 г/л (1,7%), полученных по четырем способам, с помо-

щью пикнометрического метода были определены значения пористости (рис. 4). Результаты исследований на рис. 4а показали, что значения пористости образцов, приготовленных по I способу, находятся на уровне контрольного образца без пластификатора, а по II способу отмечено снижение пористости в первые сутки на 11,8%, в марочном возрасте на 7,5%. При сравнении результатов исследований, на рис. 4б, установлено, что введение в состав цемента стабилизированной суспензии приводит к наибольшему снижению пористости как по отношению к контрольному образцу без пластификатора, так и с пластификатором.

В первые сутки пористость образца, приготовленного по IV способу, по отношению к контрольным уменьшается на 28,5% и 13%; в 28 суток твердения – на 23% и 10%, соответственно. Заметно, что наибольшее снижение пористости наблюдается именно в ранние сроки гидратационного твердения образцов.

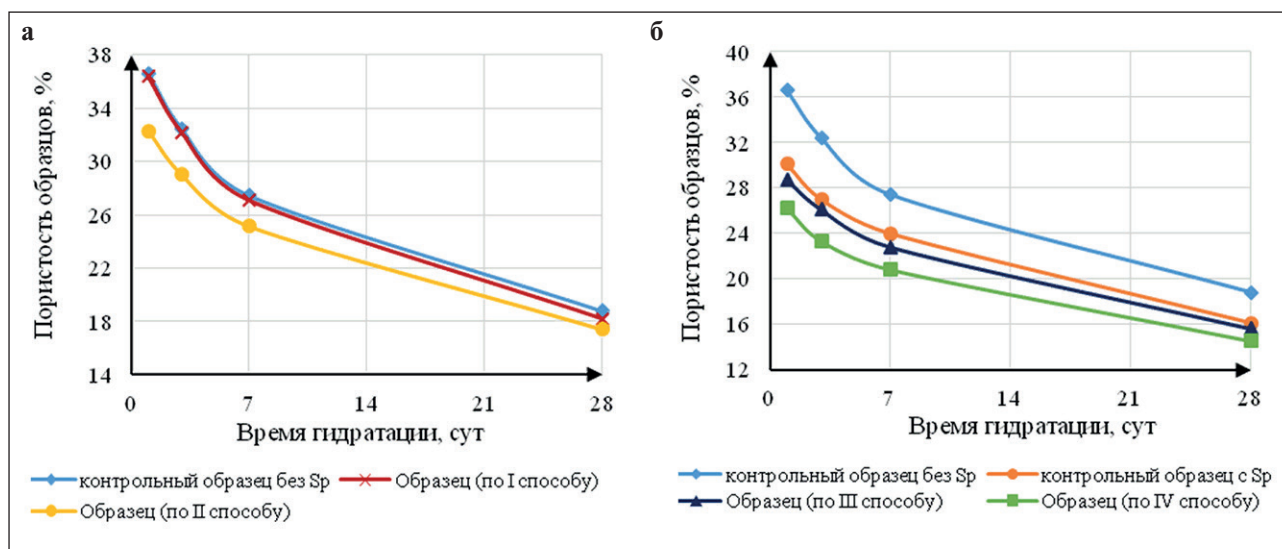


Рис. 4. Зависимость пористости образцов цементного камня с содержанием добавки 50 г/л (1,7%) от времени гидратации: а) по отношению к контрольному образцу без пластификатора; б) по отношению к двум контрольным образцам

Данный факт позволяет сделать вывод о том, что совместное влияние пластификатора и УЗО способствуют равномерному распределению частиц добавки в объеме цементных композиций, положительно влияя на их физико-механические показатели. Вероятно, это происходит за счет более интенсивного протекания процессов гидратации, более активного формирования гидратных новообразований, которое приводит к образованию более прочной и плотной структуры цементного камня. Таким образом, вводить тонкодисперсную добавку на основе оксидной системы $TiO_2-Vi_2O_3$ предпочтительнее именно в виде стабилизированной водно-полимерной суспензии, нежели чем в процессе сухого смешивания исходных компонентов, несмотря на большую трудоемкость и энергозатратность данного метода. Максимальный прирост прочности и сокращение пористости цементного камня на ранних сроках твердения позволяют рассматривать данные цементные композиции, полученные затворением цемента стабилизированными водно-полимерными суспензиями, в качестве ремонтных составов.

Одновременно с изучением строительно-технических и физико-механических характеристик модифицированных образцов цементного камня проводили также исследование способности к сопротивлению обрастанию поверхности цементного камня плесневыми грибами. Для исследования был выбран состав, отвечающий максимальному значению прочности – 50 г/л добавки, введенной в цемент в виде стабилизированной суспензии. После 28 суток выдерживания образцов в среде, благоприятной для роста и развития плесневых грибов,

признаков их роста и развития выявлено не было. Однако поверхность цементного камня все же подвергается биообрастанию, пусть и не так быстро, как это происходит случае материалов на основе древесины и полимеров. Факт отсутствия мицелия микроскопических грибов на поверхности образцов может являться следствием того, что на поверхности образцов, полученных в лаборатории, отсутствуют органические загрязнения, которые необходимы для питания, роста и размножения микроорганизмов. Вследствие этого было решено продолжить выдерживание образцов в суспензиях спор грибов в течение еще двух месяцев в среде Чапека-Докса, после чего на поверхности контрольных образцов наблюдалось разрастание мицелия преимущественно *Aspergillus niger* van Tieghem (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в соответствии с проведенными исследованиями, авторы статьи пришли к выводу, что оптимальным способом введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Vi_2O_3$ является затворение цемента стабилизированной водно-полимерной суспензией добавки, в результате чего формируется более прочная и плотная структура цементного камня, особенно в ранние сроки гидратационного твердения: прирост прочности образцов с концентрацией 10, 30, 50 г/л составляет 31,0, 38,0 и 44,8% в первые сутки, 28,0, 30,0 и 32,0% в третьи сутки и 2,4, 9,0 и 14,0% в марочном возрасте относительно контрольного образца, содержащего цемент, воду и пластификатор. Проведенные исследе-

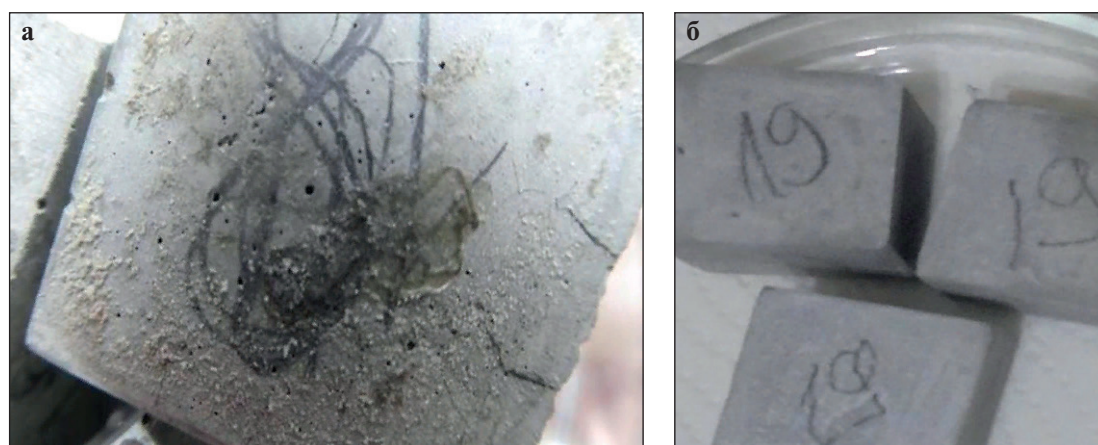


Рис. 5. Контрольный (а) и модифицированный (б) образцы цементного камня после выдерживания в суспензии спор грибов в течение 3 месяцев

дования пористости структуры цементного камня, содержащего стабилизированную суспензию добавки в количестве 50 г/л (1,7%), показали снижение в первые сутки по отношению к контрольному образцу с пластификатором на 13%, в 28 суток твердения – на 10%. Проведенные исследования на грибоустойчивость образцов, модифицированных добавкой в количестве 1,7% от массы цемента, демонстрируют,

что этот состав не подвергся обрастанию плесневыми грибами. Таким образом, авторы пришли к выводу, что цементные композиции, полученные данным способом, могут применяться в качестве ремонтных составов для заделки швов и затирок, которые могут применяться во влажных затененных помещениях, где складываются благоприятные условия для роста и размножения плесневых грибов.

Работа выполнена в рамках конкурса 2023 г. в поддержку проведения исследования аспирантов НИУ МГСУ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Inozemtcev S., Do T., Korolev E. Russian experience of research in the field of building materials with the function of self-healing. Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2022; 7(1): 8-22. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-1-8-22>
2. Ogurtsova Yu., Antonenko M., Gubareva E., Nerovnaya S., Strokova V.V. Composition and Properties of Fine-grained Concrete for Self-cleaning Coatings. E3S Web of Conferencess. 2023; 410(1): 1-7. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202341001011>
3. Şahin H.G., Mardani A. Self-cleaning concrete. Materials of VI Internatioanl European conference on interdisciplinary scientific research. 2022; 215-221.
4. Luca B., Pañțiru, A., Timu A., Bărbuță M., Diaconu L., Rujanu M., Diaconu A. Eco-concrete for obtaining “green” construction elements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2023; 1283: 1-8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1283/1/012007>
5. Nicula L., Manea D., Simedru D., Cadar O., Ardelean I., Mihai Liviu D. The Advantages on Using GGBS and ACBFS Aggregate to Obtain an Ecological Road Concrete. Coatings. 2023; 13(8): 1-27. <https://doi.org/10.3390/coatings13081368>
6. Kozlova I., Samchenko S., Zemskova O. Physico-Chemical Substantiation of Obtaining an Effective Cement Composite with Ultrafine GGBS Admixture. Buildings. 2023; 13(4): 1-36. <https://doi.org/10.3390/buildings13040925>
7. Lam T., Dien Vu., Hung N., Bulgakov B., Bazhenova S., Aleksandrova O.V. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2021; 11(2): 17-37. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2021.2.2>
8. Chougule M., Chougule V. Experimental Investigations on the Concrete Mix Design With Fly Ash. International Journal of Innovative Research in Engineering. 2023; 4(1): 106-109.
9. Lukpanov R., Dyusseminov D., Altynbekova A., Zhantlesova Zh. Research on the effect of microsilica on the properties of the cement-sand mixture. Technobius. 2022; 2(4): 1-7. <https://doi.org/10.54355/tbus/2.4.2022.0027>

10. Ghafor K., Mahmood W., Sarwar W., Mohammed A. Effect of Particle Size Distribution of Sand on Mechanical Properties of Cement Mortar Modified with Microsilica. *Aci Materials Journal*. 2019; 117(1): 47-60. <https://doi.org/10.14359/51719070>
11. Abed A., Kamal I., Mojtahedi A. Enhancing Concrete Properties Using Silica Fume: Optimized Mix Design. *Journal of Smart Buildings and Construction Technology*. 2023; 5(1): 84-91. <https://doi.org/10.30564/jsbct.v5i1.5678>
12. Yehualaw M., Fentie M., Worku B. Effect of Partial Replacement of Cement by Metakaolin on Engineering Properties of Concrete. *Advancement of Science and Technology*. 2023; 89-101. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33610-2_5
13. Potapova E.N., Dmitrieva E. A. Vliyanie metakaolina na svojstva cementa. *Applied Science of today: Problems and New Approaches: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2019; 138-142.
14. Li Sh., Shen P., Zhou H., Du Sh., Zhang Yu., Yan J. Synergistic effects of CNTs/SiO₂ composite fillers on mechanical properties of cement composites. *RSC Advances*. 2022; 42(12): 27253-27266. <https://doi.org/10.1039/D2RA04127H>
15. Leonovich S., Sadovskaya E. Nanofiber Concrete: Multi-Level Reinforcement. *Science & Technique*. 2022; 21(5): 392-396. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-392-396>
16. Dahlan A. Smart and Functional Materials Based Nanomaterials in Construction Styles in Nano-Architecture. *Silicon*. 2019; 11(4): 1949–1953. <https://doi.org/10.1007/s12633-018-0015-x>
17. Bica B., Melo J. Concrete blocks nano-modified with zinc oxide (ZnO) for photocatalytic paving: Performance comparison with titanium dioxide (TiO₂). *Construction and Building Materials*. 2020; 252: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119120>
18. Joshaghani A., Balapour M., Mashhadian M., Ozbakkaloglu T. Effects of nano-TiO₂, nano-Al₂O₃, and nano-Fe₂O₃ on rheology, mechanical and durability properties of self-consolidating concrete (SCC): An experimental study. *Construction and Building Materials*. 2020; 245. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118444>
19. Samchenko S., Kozlova I., Zemskova O., Dudareva M. Methodological Substantiation of the choice for a stabilizer for bismuth titanate fine particles suspensions. *Nanotechnologies in Construction*. 2023; 15(2): 97-109. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-2-97-109>
20. Kozlova I., Zemskova O., Lekanov N., Gavryutin D. Comparative analysis of methods of introducing fine perlite into cement composition. *E3S Web of Conferences*. 2023; 413: 1-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341304001>
21. Перцев В.Т., Козодаев С.П. Химизация и наномодифицирование – современный путь совершенствования технологии цементных систем // *Химия, физика и механика материалов*. 2020. 1(24). С. 119–128.
22. Li G., Wang L., Yu J., Yi B., He Ch., Wang Zh., Leung Ch. Mechanical properties and material characterization of cement mortar incorporating CNT-engineered polyvinyl alcohol latex. *Construction and Building Materials*. 2022; 345: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128320>
23. Kozlova I., Zemskova O., Semenov V., Stepina I. Effect of Nano-Aluminum Component on the Cement Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1079: 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/3/032071>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Козлова Ирина Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, iv.kozlova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8269-5624>

Дударева Марина Олеговна – старший преподаватель кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, modudareva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6069-0256>

ВКЛАД АВТОРОВ

Козлова И.В. – научное руководство; концепция исследования; итоговые выводы.

Дударева М.О. – написание исходного текста; проведение экспериментальной части.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 04.04.2024; принята к публикации 10.04.2024.