



УДК 691.5

Калабина Дарья Алексеевна

аспирант

Email: 4450539@gmail.com

Яковлев Григорий Иванович

доктор технических наук, профессор

Email: gyakov@istu.ru

Кузьмина Наталия Вилорьевна

ведущий инженер

Email: ooosila22a@mail.ru

Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова

Адрес организации: 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение деформативных и адгезионных свойств фторангидритовых композиций, изучение влияния эфиров поликарбоксилата на показатели усадки составов при твердении и ползучести под нагрузкой. Актуальность исследования связана с необходимостью увеличения объемов использования техногенных материалов, заменяющих традиционные вяжущие на основе портландцемента, что способствует улучшению экологической обстановки в местах хранения техногенных отходов и существенному снижению стоимости готового продукта на основе фторангидрита.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении усадки при твердении и ползучести под нагрузкой фторангидритовых композиций; определении влияния поликарбоксилатного пластификатора на их деформативные свойства; определении физико-технических характеристик разработанных составов. Показано, что введение поликарбоксилатного пластификатора способствует улучшению физико-механических и деформативных свойств разработанных композиций: повышению прочности до 42,5 МПа и 17,5 Мпа, снижению усадочных деформаций композиции в 10 раз, повышению водостойкости материалов на 28 % за счет уплотнения структуры.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке безусадочных составов для устройства полов на основе фторангидритового вяжущего, которые могут быть использованы в качестве теплоизолирующего слоя и самовыравнивающейся быстротвердеющей стяжки.

Ключевые слова: фторангидрит, перлит, фосфат натрия, поликарбоксилат, усадка, ползучесть.

Для цитирования: Калабина Д. А., Яковлев Г. И., Кузьмина Н. В. Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 24–38. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_24.

1. Введение

Традиционно используемые в строительстве цементно-песчаные стяжки полов имеют такой недостаток, как трещинообразование. Оно происходит в результате усадки цементного камня при перекристаллизации аморфных новообразований в кристаллогидраты. Для компенсации линейных деформаций в раствор вводятся расширяющие компоненты: двуводный гипс [1, 2], сульфоалюминатная добавка [3, 4], высококальциевые золы ТЭЦ [5, 6]. Снижение усадочных явлений также обеспечивается введением пластификаторов [7-10] и устройством деформационных швов.

В отличие от цементных смесей ангидритовые практически не дают усадки: объемное расширение в первоначальный период твердения компенсируется усадкой при дальнейшем твердении и высыхании [11]. Тем не менее, они не могут быть применены в помещениях с влажными условиями эксплуатации, так как при увлажнении проявляют высокую ползучесть, обусловленную скольжением кристаллов двуводного гипса в

структуре затвердевшего изделия, а также растворением двугидрата в местах контакта кристаллических сростков [12]. Воздействие адсорбционной влаги, проникающей в материал через дефекты [13], микропоры и трещины, и ослабляющей его структуру, приводит к росту деформаций ползучести даже при незначительном увлажнении.

Снижению деформаций ползучести способствует повышение водостойкости материалов на основе сульфатов кальция за счет снижения растворимости двухводного гипса и уменьшения пористости материала с одновременным закрытием пор для предотвращения доступа воды внутрь материала [14]. Для этого используются минеральные [15-17], органоминеральные [18, 19] и органические добавки [20].

Среди широко используемых компонентов можно назвать портландцемент, вводимый совместно с пуццолановой гидравлической добавкой – гипсоцементно-пуццолановое вяжущее [21, 22], растворимое стекло [23], доменные шлаки [24].

Так, в работе [25] получено водостойкое гипсовое вяжущее с добавлением пластифицирующей добавки С-3. Разработано водостойкое композиционное гипсовое вяжущее с комплексным использованием золошлаковых отходов ТЭЦ [26]. В работе [27] описаны свойства гипсошлаковой смеси, в которой водостойкость повышена благодаря формированию новых аморфных фаз в результате гидратации шлака. В исследовании [28] показано, что небольшое количество шлака может повысить водостойкость фосфогипса.

Для повышения водостойкости материалов применяются различные пластификаторы [29] и гидрофобизаторы на органических синтезированных соединениях [30, 31], способствующие понижению водопотребности композиции.

Деформации ползучести могут быть снижены путем образования более прочной и плотной гипсовой матрицы с помощью метода гиперпрессования [32], при котором за счет приложения внешнего давления структура композита формируется в условиях сближения зерен гипса на расстояния близкодействующих сил.

Известно исследование комплексного воздействия на свойства гипсовой матрицы углеродных нанотрубок и тонкодисперсной металлургической пыли, способствующих уплотнению материала и повышению коэффициента размягчения до 0,85. Синергетический эффект обеспечивается за счет формирования центров кристаллизации гипса благодаря наличию углеродных нанотрубок и образованию продуктов гидратации металлургической пыли – аморфных фаз, состоящих из слаборастворимых соединений на основе гидросиликатов кальция и алюминия, уплотняющих кристаллы гипса [33]. Наряду с гипсовыми вяжущими углеродные нанотрубки используются также в составе полимерных материалов [34] и керамики [35]. В то же время необходимо учитывать высокую стоимость синтезированных углеродных нанотрубок, что в конечном итоге приводит к низкой экономической эффективности разработанных материалов.

Известны технологические решения повышения водостойкости гипсовых и гипсоцементнопуццолановых вяжущих введением силоксановых добавок, а также комплексных добавок с их использованием. Так запатентовано изобретение водостойких гипсовых смесей с добавлением силоксановой эмульсии, которая обеспечивает повышение коэффициента размягчения до 0,8 [36]. Использование полимерных добавок в виде силоксанов усложняет технологию приготовления, повышает стоимость готового продукта и снижает паропроницаемость материала.

Известно, что некоторые модифицирующие добавки могут приводить к развитию усадочных деформаций при твердении растворов. Например, при твердении смесей строительного гипса с портландцементом происходит быстрое твердение полугидрата, но затем наблюдается падение прочности и разрушение твердеющего материала вследствие появления значительных напряжений от образования этtringита – гидросульфата алюмината кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) [37].

Вопросы природы появления деформаций объемного расширения и усадки при введении добавок в гипсовые и ангидритовые составы являются актуальными и активно исследуются [38-40].

Задачей данного исследования является изучение влияния поликарбоксилатного пластификатора на поведение при твердении и работе под нагрузкой, а также на адгезионные свойства высокопрочной и облегченной фторангидритовых композиций, разработанных ранее [41]. Введение поликарбоксилатного пластификатора во

фторангидритовое вяжущее приводит к уплотнению структуры за счет увеличения площади соприкосновения кристаллогидратных новообразований и изменения их морфологии, что, в конечном итоге, обеспечивает улучшение физико-механических характеристик, деформативных свойств материала при твердении и эксплуатации, а также обеспечивает увеличение площади контакта с цементным основанием в силу большей плотности структуры.

Объектом исследования являются пластифицированные фторангидритовые композиции для устройства полов. Предмет исследования – их физико-технические показатели, деформационные и адгезионные свойства.

2. Материалы и методы

В качестве вяжущего использован порошкообразный фторангидрит – отход производства плавиковой кислоты компании «ГалоПолимер» (г. Пермь), соответствующий ТУ 5744-132-05807960-98. Для улучшения его реологических свойств порошок предварительно измельчался в дисковом истирателе ИД-200 (средний диаметр частиц после помола составлял 10,5 мкм).

В качестве сверхлегкого заполнителя при приготовлении теплоизолирующей стяжки использовался вспученный перлитовый песок (ГОСТ 10832-2009) с насыпной плотностью 98,9 кг/м³. По результатам дисперсионного анализа, проведенного на лазерном анализаторе SALD-7500 nano Shimadzu (рис. 1), было установлено, что средний размер частиц вспученного перлитового песка составляет 65 мкм, до 72 % частиц вспученного песка имеют размеры менее 100 мкм.

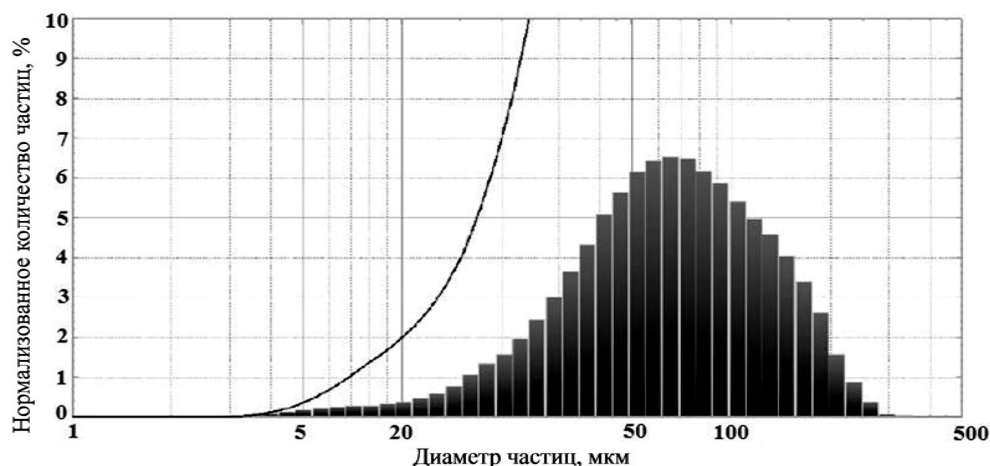


Рис. 1. Дисперсионный анализ вспученного перлитового песка (иллюстрация авторов)

Для активизации процессов структурообразования фторангидрита использовался 3 % водный раствор соли ортофосфорной кислоты – фосфата натрия Na_3PO_4 .

С целью снижения водопотребности, повышения пластичности и водостойкости в композиции вводился суперпластификатор DC-5, представляющий собой водный раствор эфиров поликарбоксилата (ТУ 2493-001-68708012-2014).

Для затворения вяжущего использовалась питьевая вода по ГОСТ 2874-82.

Состав исследуемых композиций:

В – высокопрочное вяжущее – фторангидрит, затворенный 3 % водным раствором фосфата натрия;

ВП – высокопрочная пластифицированная композиция – фторангидрит, затворенная водным раствором, содержащим 3 % фосфата натрия и 2 % пластификатора DC-5;

ОП – облегченная пластифицированная композиция – фторангидрит, затворенная водным раствором, содержащим 3 % фосфата натрия и 2 % пластификатора DC-5, с введением 50 % вспученного перлитового песка (по объему сухого вещества).

Физико-механические характеристики исследуемых композиций представлены в табл. 1.

Таблица 1

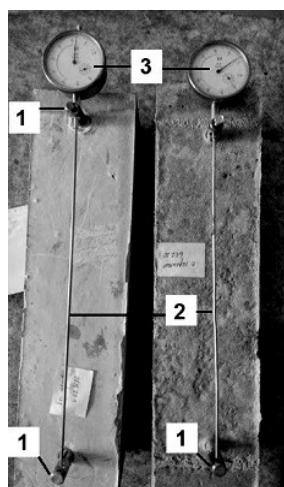
Физико-механические характеристики исследуемых композиций

Композиции	Прочность на 28 сут, МПа		Водовязущее отношение	Коэффициент размягчения	Средняя плотность, кг/м ³
	На растяжение при изгибе	На сжатие			
В	9,66	32,4	0,27	0,71	2020
ВП	11,7	42,5	0,20	0,91	2190
ОП	5,6	17,5	0,35	0,67	1500

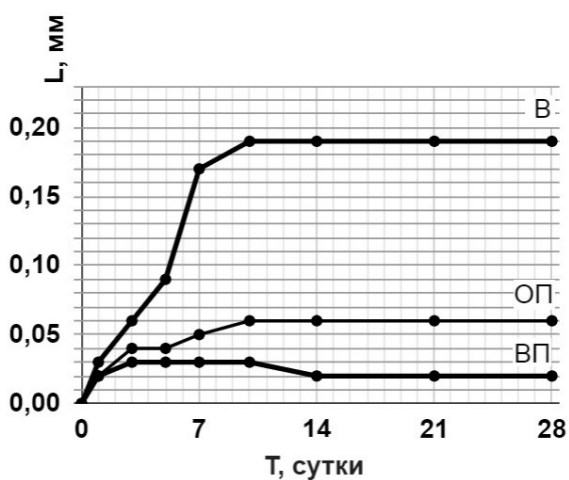
Для определения деформаций усадки при твердении и наборе прочности была использована методика с использованием стационарно установленных на образцы индикаторов часового типа [42]. С целью исключения влияния влажности окружающей среды в процессе испытания, поверхность образцов покрывалась слоем парафина, армированного хлопчатобумажной марлей. Измерения проводились в течение 28 суток.

Оценка величины деформаций ползучести может быть проведена непосредственным измерением или на основе структурных исследований композитов [43]. В настоящее время единого стандарта по определению деформаций ползучести для гипсовых и ангидридовых материалов не существует, ведутся разработки авторских методик, основанных на современных представлениях природы механизма ползучести [44-48].

Для оценки ползучести пластифицированных фторангидридовых композиций использовалась пружинная установка, выполненная в виде силовой рамы (рис. 2а). Передача нагрузки на образец производилась с помощью пружин через опорные плиты. Степень нагружения контролировалась через величину осадки пружины, предварительно тарированную с применением динамометров.



а)



б)

Рис. 2. а) образцы для определения деформаций усадки:

1 – анкер, 2 – стержень, 3 – числовой индикатор;

б) график линейных деформаций фторангидридовых составов:

В – высокопрочного вяжущего, ОП – облегченной пластифицированной композиции,

ВП – высокопрочной пластифицированной композиции (иллюстрация авторов)

Ползучесть композиций определялась на образцах-призмах с размерами 100×100×400 мм, нагруженных в возрасте 28 суток, твердевших в условиях нормальной влажности. С целью исключения влияния изменений влажности окружающей среды в процессе испытания образцы подвергались изоляции покрытием поверхности слоем парафина, армированного хлопчатобумажной марлей. Уровень деформаций под нагрузкой определялся индикатором часового типа марки ИЧ с ценой деления 0,01 мм. Индикация результатов испытаний проводилась через 0,5 и 3 часа и через 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35 суток после загрузки.

Величина нагрузки соответствовала максимальному уровню деформации пружины в стенде и равнялась 7 МПа, что соответствовало степени нагружения образцов $0,4 R_{сж}$ для облегченной композиции ОП, $0,2 R_{сж}$ для образцов высокопрочной композиции ВП.

Анализ экспериментальных данных производился после усреднения показателей на соответствующих индикаторах. Полученные относительные деформации ползучести использовались для построения графических зависимостей (рис. 2б).

Композиции для устройства полов нормируются по прочности сцепления с основанием (табл. 6 ГОСТ 31358-2109 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия»). Определение адгезии к бетонному основанию проводилось в соответствии с п. 9 ГОСТ Р 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний» в независимой строительной лаборатории с применением измерителя прочности сцепления ПСО-10МГ4 КЛ. Для эксперимента на негрунтованную и обработанную грунтовкой Peneco Nano Stachema поверхность кубов, выполненных из бетона класса В25, в специально подготовленную опалубку заливались пробы высокопрочного и облегченного пластифицированных составов толщиной 20 мм.

Исследования микроструктуры пластифицированных композиций выполнялись на микроскопе MIRA3 TESCAN в исследовательском центре AdMaS технического университета Брно (рис. 3, 4).

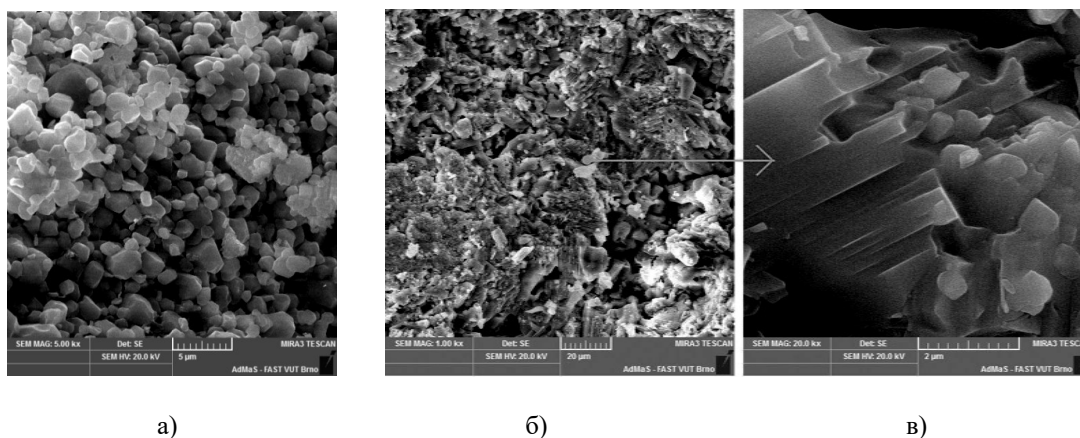


Рис. 3. Микроструктура высокопрочной фторангидритовой матрицы при 5000-кратном увеличении: а) без пластификатора; б) с пластификатором DC-5; в) фрагмент микроструктуры при 20000-ти кратном увеличении (иллюстрация авторов)

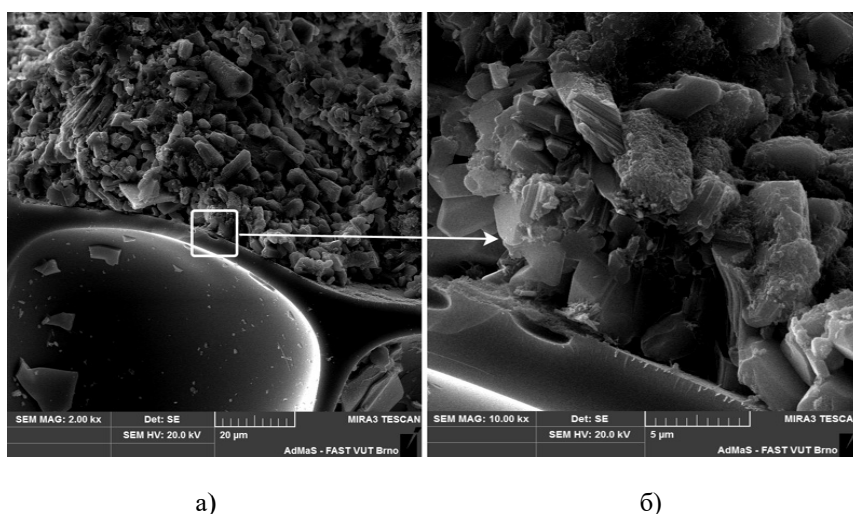


Рис. 4. Микроструктура контактной границы (а), физико-химическое взаимодействие вяжущей матрицы с поверхностью вспученного перлита (б) (иллюстрация авторов)

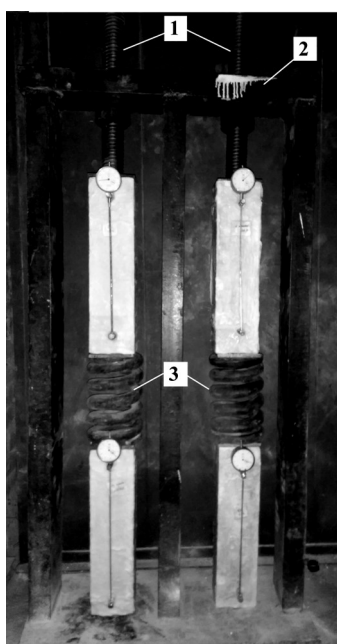
Прочность при сжатии и растяжении при изгибе образцов-балочек определялась на лабораторном гидравлическом малогабаритном прессе ПМГ-100 МГ4 со скоростью нагружения 0,1 МПа/с.

В соответствии с ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытания» и ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» были определены следующие показатели растворных смесей: время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе, время пешеходного движения, плотность растворной смеси, подвижность по расплыву кольца, водоудерживающая способность, расслаиваемость.

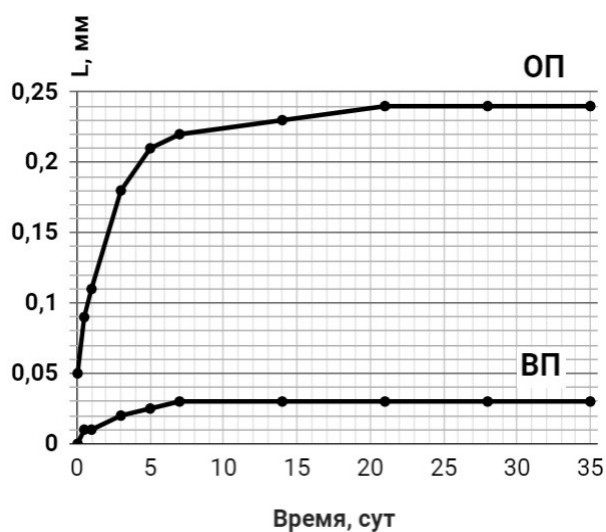
3. Результаты

Из графика (рис. 5б) видно, что деформации трех исследуемых составов наиболее активно развивались в первые десять суток твердения, после 14 суток деформации полностью стабилизировались. Снижение деформаций высокопрочной пластифицированной композиции с 10 до 14 суток твердения возможно связано с переходом аморфной фазы продуктов гидратации фторангидрита в кристаллогидраты.

По результатам исследования установлено наличие деформаций ползучести следующих величин: для высокопрочной (ВП) композиции деформация составила 0,1 мм/м, для облегченной (ОП) композиции 0,8 мм/м.



а)



б)

Рис. 5. а) установка для определения ползучести: 1 – прижимные винты, 2 – силовая рама, 3 – пружины; б) график зависимости деформаций ползучести от продолжительности нагружения:

ОП – облегченной пластифицированной композиции,

ВП – высокопрочной пластифицированной композиции (иллюстрация авторов)

Результаты испытаний на прочность сцепления с бетонным основанием сведены в табл. 2. Из таблицы видно, что прочность сцепления с бетонным основанием значительно возрастает при предварительной обработке поверхности кубов грунтовкой Peneco Nano Stachema. Адгезионные свойства разработанных композиций превышают требуемое значение 0,6 МПа (ГОСТ 31358-2019).

Таблица 2

**Прочность сцепления с бетонным основанием
пластифицированных фторангидритовых композиций**

№ п/п	Наименование пробы, маркировка	№ образца	Прочность сцепления, МПа	
			Образца	Среднее значение
Поверхность бетонного основания не огрунтована				
1	ВП	1	0,19	0,16
2		2	0,12	
3	ОП	1	0,09	0,18
4		2	0,26	
Поверхность бетонных кубов обработана грунтовкой Peneco Nano Stachema				
5	ВП	1	1,51	1,53
6		2	1,54	
7		3	1,53	
8	ОП	1	1,19	1,19
9		2	1,20	
10		3	1,17	

4. Обсуждение

При сравнении начальных и конечных показателей деформаций образцов был сделан вывод о возникновении в исследуемых пластифицированных DC-5 составах незначительных деформаций усадки. Для высокопрочной (ВП) и облегченной (ОП) композиций деформация составила 0,067 мм/м и 0,2 мм/м соответственно, для высокопрочного фторангидритового вяжущего – 0,63 мм/м.

Сокращение деформаций усадки при твердении пластифицированных композиций обусловлено формированием более плотной структуры затвердевшего камня в сравнении с контрольным образцом, что подтверждено исследованиями микроструктуры пластифицированных композиций, выполненными на микроскопе MIRA3 TESCAN в исследовательском центре AdMaS технического университета Брно.

На рис. 3 видно, что в пластифицированной композиции наблюдается формирование более плотной структуры с изменением морфологии кристаллогидратных образований (рис. 3б) и преобладанием в ней крупных блоков монолитных кристаллов гипса (рис. 3в).

Высокая плотность и прочность облегченной композиции обеспечивается плотным сцеплением вяжущей фторангидритовой матрицы с поверхностью частиц перлита. На рис. 4б видно наличие физико-химического взаимодействия на границе контакта частицы перлита и фторангидритового вяжущего с формированием игольчатых новообразований.

Рентгеновский микроанализ показал наличие в составе дисперсных кристаллов на поверхности перлита атомов кальция Са, кремния Si, серы S, кислорода О и алюминия Al, что позволяет предположить образование гидросульфоалюминатов и гидросиликатов кальция, обеспечивающих дополнительный прирост прочности композиции за счет химического взаимодействия вяжущей матрицы и заполнителя, которое было подтверждено ИК-спектральным анализом [49].

Полученные результаты не противоречат известным исследованиям, приведенным во введении к данной статье.

Для классификации разработанных фторангидритовых составов в соответствии с ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» были проведены дополнительные исследования, которые показали, что высокопрочная пластифицированная композиция в первые сутки твердения набирает 35 % от проектной прочности. Твердение и набор прочности у облегченной композиции протекают медленнее, и к 24 часам прочность составляет 15-20 % от проектной. Таким образом, композиция ВП относится к быстротвердеющим строительным растворам, а ОП – к нормальноотвердеющим (время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе составляет трое суток).

По своим техническим показателям, представленным в табл. 3, разработанные составы отвечают требованиям ГОСТ к напольным растворам.

Таблица 3

Физико-технические характеристики пластифицированных фторангидритовых растворов

Нормируемый показатель	ВП	ОП
время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе	быстротвердеющие	Нормально-твердеющие
время пешеходного движения, час	6-8	22-24
плотность растворной смеси, кг/м ³	3100	1400
подвижность по расплыву кольца, см	23-24 (Пк5) самовыравнивающиеся	17-18 (Пк3) выравниваемые (ровнители)
водоудерживающая способность, %	98	96
расслаиваемость, %	-	8

Разработанные композиции защищены патентом RU 2723788 «Высокопрочное фторангидритовое вяжущее, способ получения высокопрочного фторангидритового вяжущего и композиции на его основе (варианты)».

5. Заключение

1. Разработанные материалы снижают экологическую нагрузку в местах хранения фторангидрита в отвалах; при низкой стоимости техногенного сырья позволяют получать композиции, не уступающие по показателям физико-технических свойств композициям на основе портландцемента и его разновидностей.

2. Впервые для активации фторангидрита использован фосфат натрия, обеспечивающий повышенные показатели прочности и водостойкости по сравнению с традиционно используемыми сульфатными активаторами ангидритовых составов на 60 %.

3. Введение во фторангидритовое вяжущее эфиров поликарбоксилата позволило сократить усадочные деформации при твердении составов в 10 раз благодаря формированию более прочной структуры затвердевшего материала. Прочность образцов на растяжение при изгибе возросла на 20 %, при сжатии – на 30-46 %, водостойкость – на 28 % по сравнению с композициями без пластификатора.

4. Исследования микроструктуры показали формирование в пластифицированной композиции более плотной структуры с изменением морфологии кристаллогидратных образований и преобладанием в ней крупных блоков монолитных кристаллов гипса. Высокая плотность и прочность облегченной композиции обеспечивается плотным сцеплением вяжущей фторангидритовой матрицы с поверхностью частиц перлита с физико-химическим взаимодействием на границе контакта с возникновением игольчатых новообразований.

5. Разработанные безусадочные пластифицированные составы по своим физико-механическим показателям отвечают требованиям ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» и могут быть использованы в качестве безусадочных самовыравнивающихся стяжек для полов и ровнителя. Облегченная вспученным перлитовым песком пластифицированная фторангидритовая композиция может применяться в качестве тепло-звукоизоляционного слоя при устройстве полов. Высокопрочная пластифицированная композиция может быть использована как быстротвердеющая самовыравнивающаяся стяжка поверх тепло-звукоизоляционного слоя.

Список библиографических ссылок

1. Lee B., Kim G., Nam J., Lee K., Kim G., Lee S., Shin K. and Koyama T. Influence of α -Calcium Sulfate Hemihydrate on Setting, Compressive Strength, and Shrinkage Strain of Cement Mortar // Materials 2019. Vol. 12. Iss. 1. 163. DOI: 10.3390/ma12010163.
2. Yan B., Zhu W., Hou Ch., Yu Y., Guan K. Effects of coupled sulphate and temperature on internal strain and strength evolution of cemented paste backfill at early age //

- Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116937. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116937.
3. Кузьменков М. И., Мечай А. А. Матвиец А. А. Безусадочный цемент с расширяющей сульфоалюминатной добавкой // Цемент и его применение. 2006. Т. 6. С. 90–92.
 4. Souza M. T., Onghero L., Correa B. N., Selhorsta M. A., Dias A. M., Repette W. L., Pereira F. R., Novaes de Oliveira A. P. Novel low-cost shrinkage-compensating admixture for ordinary Portland cement // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117024.
 5. Музалевская Н. В., Овчаренко Г. И., Алексеенко В. В., Балабаева Т. С., Лютцева Т. В., Сорокина А. С. Безусадочные стяжки полов на основе высококальциевой золы ТЭЦ // Вестник УЮрГУ. 2011. Т. 16. С. 34–37.
 6. Овчаренко Г. И., Лобанова О. В., Сухенко А. К., Лаврут А. С. Безусадочные бетоны из высокоподвижных смесей на основе высококальциевой золы ТЭЦ : сб. ст. II-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием – Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России / Сибирский государственный индустриальный университет. Новокузнецк, 2019. С. 206–209.
 7. Mora-Ruacho J., Gettu R., Aguado A. Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 3. P. 141–146.
 8. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 45. P. 324–331.
 9. He Z., Hua H., Casanova I., Liang C., Du S. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 254. 119312.
 10. He Y., Zhang X., Liu S., Hooton R.D., Ji T., Kong Y. Impacts of sulphates on rheological property and hydration performance of cement paste in the function of polycarboxylate superplasticizer // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 256. 119428.
 11. Зимакова Г. А., Каспер Е. А., Бочкарева О. С. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе. Тюмень : РИО ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2014. 89 с.
 12. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). М. : Стройиздат, 1979. 476 с.
 13. Cebasek T. M., Frühwirth T. Investigation of creep behaviours of gypsum specimens with flaws under different uniaxial loads // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 10. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.11.002.
 14. Кавардаков В. Н. Способы повышения прочности и водостойкости композиционных гипсовых смесей // Актуальные исследования. 2020. Т. 8. Вып. 11. С. 33–36.
 15. Халиуллин М. И., Гайфуллин А. Р., Рахимов Р. З., С. О. В. Влияние комплексной добавки извести, молотой керамзитовой пыли и суперпластификатора на состав и структуру композиционного гипсового вяжущего // Вестник КТУ. 2013. Вып. 16, № 19. С. 66–70.
 16. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. С. 03012. DOI: 10.1051/matecconf/201710603012.
 17. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 6. С. 60–63.
 18. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой смеси. пат. RU 2551176 C1, 20.05.2015. Заявка № 2014114813/03 от 14.04.2014.
 19. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Полифункциональный химический модификатор гипсоцементных композиций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 11 (74). С. 17–25.

20. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 6. С. 60–63.
21. Method for reducing creep in a gypsum plaster-based element, gypsum plaster-based composition and method for making a gypsum plaster-based element with reduced creep : pat. WO2004052802A2 France. № PCT/FR2003/003556 ; decl. 02.12.03 ; publ. 24.06.04. 19 с.
22. Потапова Е. Н. Самонивелирующиеся смеси на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2020. № 1 (58). С. 50–67.
23. Ферронская А. В., Коровяков В. Ф., Баранов И. М., Бурьянов А. Ф., Лосев Ю. Г., Поплавский В. В., Шишин А. В. Гипс в малоэтажном строительстве. М. : АСВ, 2008. 240 с.
24. Солопова Г. С. Повышение эффективности гипсовых изделий // Молодой ученый. 2014. Т. 3. С. 356–357.
25. Suntharalingam Sh., Takahashi Yu. Experimental study on autogenous shrinkage behaviors of different Portland blast furnace slag cements // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116980. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116980.
26. Самигов Н. А. Атакузиев Т. А. Асаматдинов М. О. Ахунджанова С. Р. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых вяжущих // Universum. Технические науки. 2015. Т. 10. Вып. 21. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2675> (дата обращения: 14.12.2020).
27. Аласханов А. Х., Алиев С. А., Муртазаев С. Ю., Успанова А. С. Рецепттура водостойких композиционных гипсовых вяжущих с компонентами техногенного происхождения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. Т. 39. Вып. 4. С. 63–76. DOI: 10.21822/2073-6185-2015-39-4-63-76.
28. Escalante-García J. I., Magallanes-Rivera R. X., Gorokhovskiy A. Waste gypsum–blast furnace slag cement in mortars with granulated slag and silica sand as aggregates // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Iss. 8. P. 2851–2855.
29. Wang Q., Cui Y., Xue J. Study on the improvement of the waterproof and mechanical properties of hemihydrate phosphogypsum-based foam insulation materials // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117014.
30. Коровяков В. Ф. Повышение водостойкости гипсовых вяжущих веществ и расширение областей их применения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. Т. 3. С. 28–31.
31. Петропавловская В. Б., Бурьянов А. Ф., Петропавловский К. С., Новиченкова Т. Б. Высокопрочные гипсовые материалы // Физика, химия и механика материалов. 2019. Т. 1. Вып. 20. С. 3–13.
32. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Применение гидрофобизирующих добавок для повышения водостойкости изделий на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 40–44.
33. Pervyshin G. N., Yakovlev G. I., Gordina A. F., Keriene J., Polyanskikh I. S., Fischer H.-B., Rachimova N. R., Buryanov A. F. Water-resistant Gypsum Compositions with Man-made Modifiers // Procedia Engineering. 2017. Vol. 172. P. 867–874.
34. Хозин В. Г., Низамов Р. К., Абдрахманова Л. А. Модификация строительных полимеров (поливинилхлорида и эпоксидных) однослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 55–61.
35. Богданов А. Н., Абдрахманова Л. А., Хозин В. Г. Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 14–17.
36. Способ получения влагостойких изделий на основе гипса : пат. Рос. Федерация 2381902. № 2007108551/03 ; заявл. 25.07.2005 ; опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5. 13 с.

37. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. М. : Высшая школа, 1980. 237с.
38. Василик П. Г., Калашников Р. В., Бурьянов А. Ф., Фишер Х.-Б. Исследование причин возникновения трещин в материалах на основе гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2015. Т. 6. С. 88–90.
39. Bullerjahn F., Skocek J., Haha M. B., Scrivener K. Chemical shrinkage of ye'elimite with and without gypsum addition // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 200. P. 770–780.
40. Melo Neto A. A., Cincotto M. A., Repette W. L. Mechanical properties, drying and autogenous shrinkage of blast furnace slag activated with hydrated lime and gypsum // Cement and Concrete Composites. 2010. Vol. 32. Iss. 4. P. 312–318.
41. Калабина Д. А., Яковлев Г. И., Дрохитка Р., Грахов В. П., Первушин Г. Н., Баженов К. А., Трошкова В. В. Реологическая активация фторангидритовых композиций эфирами поликарбоксилата // Строительные материалы. 2020. Т. 1-2. С. 38–47. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-38-47.
42. Лифанов И. С., Шерстюков Н. Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве: Справ. Пособие. М. : Стройиздат, 1979. 223 с.
43. Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Белов Д. В., Баркая А. Т. Деформации ползучести гипсовых композитов : сб. ст. Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2019. С. 330–334. DOI: 10.12737/conferencearticle_5cecedc3bc1066.56536029.
44. Бычков А. С. Ползучесть керамзитобетона на основе гипсового вяжущего повышенной водостойкости из фосфогипса // Строительные материалы и оборудование, технологии XXI века. 2005. Т. 12. Вып. 83. С. 26–27.
45. Пачон-Родригез Е. А., Коломбани Ж. Механизм ползучести гипсокартона под воздействием влаги // Alitinform. Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2012. Т. 1. Вып. 23. С. 106–112.
46. Pachon-Rodriguez E. A., Guillon E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 63. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.05.004.
47. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., Sextl G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster // Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 98. P. 122–129.
48. Liang S., Wei Y. New insights into creep and creep recovery of hardened cement paste at micro scale // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 248. 118724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118724.
49. Yakovlev G., Drochytka R., Pervushin G., Grahov. V., Kalabina D., Gordina A., Ginchitskaya J. Structural and Thermal Insulation Materials Based on High-Strength Anhydrite Binder // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 603. 032071. DOI: 10.1088/1757-899X/603/3/032071.

Kalabina Daria Alekseevna

post-graduate student

Email: 4450539@gmail.com

Yakovlev Grigoriy Ivanovich

doctor of technical sciences, professor

Email: gyakov@istu.ru

Kuzmina Natalia Vilorevna

chief engineer

Email: ooosila22a@mail.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

The organization address: 426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya str., 7

Non-shrinking fluoroanhydrite compositions for flooring

Abstract

Problem statement. The main purpose of the research is to determine the deformative and adhesion properties of fluoroanhydrite compositions, to study the effect of polycarboxylate ethers on the shrinkage characteristics of the compositions during hardening and creep under load. The relevance of the study is associated with the need to increase the use of man-made materials replacing traditional binders based on Portland cement, which contributes to the improvement of the environmental situation in the storage sites of man-made waste and a significant reduction in the cost of the finished product based on fluoroanhydrite.

Results. The main results of the study are to determine the shrinkage during hardening and creep under load of fluoroanhydrite compositions; determining the effect of the polycarboxylate plasticizer on their deformation properties; determination of the physical and technical characteristics of the developed formulations. It is shown that the introduction of a polycarboxylate plasticizer improves the physicomechanical and deformative properties of the developed compositions: increasing the strength to 42,5 MPa and 17,5 MPa, reducing the shrinkage deformations of the composition by 10 times, increasing the water resistance of materials by 28 % due to the compaction of the structure.

Conclusions. The significance of the results for construction industry consists in the development of non-shrinking compositions for flooring based on fluoroanhydrite binder, which can be used as a heat-insulating layer and a self-leveling fast-setting screed.

Keywords: fluoroanhydrite, perlite, sodium phosphate, polycarboxylate, shrinkage, creep.

For citation: Kalabina D. A., Yakovlev G. I., Kuzmina N. V. Non-shrinking fluoroanhydrite compositions for flooring // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 24–38. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_24.

References

1. Lee B., Kim G., Nam J., Lee K., Kim G., Lee S., Shin K. and Koyama T. Influence of α -Calcium Sulfate Hemihydrate on Setting, Compressive Strength, and Shrinkage Strain of Cement Mortar // Materials 2019. Vol. 12. Iss. 1. 163. DOI: 10.3390/ma12010163.
2. Yan B., Zhu W., Hou Ch., Yu Y., Guan K. Effects of coupled sulphate and temperature on internal strain and strength evolution of cemented paste backfill at early age // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116937. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116937.
3. Kuzmenkov M. I., Mechay A. A. Matviyets A. A. Shrinkage-free cement with expanding sulfoaluminate additive // Tsement i yego primeneniye. 2006. Vol. 6. P. 90–92.
4. Souza M. T., Onghero L., Correa B. N., Selhorsta M. A., Dias A. M., Repette W. L., Pereira F. R., Novaes de Oliveira A. P. Novel low-cost shrinkage-compensating admixture for ordinary Portland cement // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117024.
5. Muzalevskaya N. V., Ovcharenko G. I., Alekseenko V. V., Balabaeva T. S., Lyuttseva T. V., Sorokina A. S. Non-shrinking floor screeds based on high-calcium ash from CHPP // Vestnik UYurGU. 2011. Vol. 16. P. 34–37.
6. Ovcharenko G. I., Lobanova O. V., Sukhenko A. K., Lavrut A. S. Shrinkage-free concretes from highly mobile mixtures based on high-calcium ash from CHPP : dig. of art. II-nd All-Russian scientific and practical conference with international participation – Topical issues of modern construction of industrial regions of Russia / Siberian State Industrial University. Novokuznetsk, 2019. P. 206–209.
7. Mora-Ruacho J., Gettu R., Aguado A. Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 3. P. 141–146.

8. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 45. P. 324–331.
9. He Z., Hua H., Casanova I., Liang C., Du S. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 254. 119312.
10. He Y., Zhang X., Liu S., Hooton R.D., Ji T., Kong Y. Impacts of sulphates on rheological property and hydration performance of cement paste in the function of polycarboxylate superplasticizer // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 256. 119428.
11. Zimakova G. A., Kasper E. A., Bochkareva O. S. Gypsum binders, materials and products based on them. Tyumen: RIO FGBOU VPO TyumGASU, 2014. 89 p.
12. Volzhensky A. V., Burov Yu. S., Kolokolnikov V. S. Mineral binders: (technology and properties). M. : Stroyizdat, 1979. 476 p.
13. Cebasek T. M., Frühwirth T. Investigation of creep behaviours of gypsum specimens with flaws under different uniaxial loads // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2017. Vol. 10. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.11.002.
14. Kavardakov V. N. Methods for increasing the strength and water resistance of composite gypsum mixtures // *Aktual'nyye issledovaniya*. 2020. Vol. 8. Iss. 11. P. 33–36.
15. Khaliullin M. I., Gaifullin A. R., Rakhimov R. Z., S. O. V. The influence of a complex additive of lime, ground expanded clay dust and a superplasticizer on the composition and structure of a composite gypsum binder // *Vestnik KTU*. 2013. Vol. 16, № 19. P. 66–70.
16. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // *MATEC Web of Conferences*. 2017. P. 03012. DOI: 10.1051/mateconf/201710603012.
17. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolan binder // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 20. № 6. P. 60–63.
18. Method of preparation of gypsum-cement-pozzolan mixture. Pat. RU 2551176 C1, 20.05.2015. Application № 2014114813/03 dated 14.04.2014.
19. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. Polyfunctional chemical modifier of gypsum-cement compositions // *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2018. № 11 (74). P. 17–25.
20. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolan binder // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 20. № 6. P. 60–63.
21. Method for reducing creep in a gypsum plaster-based element, gypsum plaster-based composition and method for making a gypsum plaster-based element with reduced creep : pat. WO2004052802A2 France. № PCT/FR2003/003556 ; decl. 02.12.03 ; publ. 24.06.04. 19 p.
22. Potapova E. N. Self-leveling mixtures based on gypsum-cement-pozzolan binder // *ALITinform : Tsement. Beton. Sukhiye smesi*. 2020. № 1 (58). P. 50–67.
23. Ferronskaya A. V., Korovyakov V. F., Baranov I. M., Buryanov A. F., Losev Yu. G., Poplavsky V. V., Shishin A. V. Gypsum in low-rise construction. M. : ASV, 2008. 240 p.
24. Solopova G. S. Increasing the efficiency of gypsum products // *Molodoy ucheniy*. 2014. Vol. 3. P. 356–357.
25. Suntharalingam Sh., Takahashi Yu. Experimental study on autogenous shrinkage behaviors of different Portland blast furnace slag cements // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 230. 116980. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116980.
26. Samigov N. A., Atakuziev T. A., Asamatdinov M. O., Akhundzhanova S. R. Physicochemical structure and properties of waterproof and high-strength composite gypsum binders // *Universum. Technical science*. 2015. Vol. 10. Iss. 21. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2675> (reference date: 14.12.2020).

27. Alaskhanov A. Kh., Aliev S. A., Murtazaev S. Yu., Uspanova A. S. Recipe of waterproof composite gypsum binders with components of technogenic origin // *Vestnik dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2015. Vol. 39. Iss. 4. P. 63–76. DOI: 10.21822/2073-6185-2015-39-4-63-76.
28. Escalante-García J. I., Magallanes-Rivera R. X., Gorokhovskiy A. Waste gypsum–blast furnace slag cement in mortars with granulated slag and silica sand as aggregates // *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Iss. 8. P. 2851–2855.
29. Wang Q., Cui Y., Xue J. Study on the improvement of the waterproof and mechanical properties of hemihydrate phosphogypsum-based foam insulation materials // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 230. 117014.
30. Korovyakov V. F. Increasing the water resistance of gypsum binders and expanding their areas of application // *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2005. Vol. 3. P. 28–31.
31. Petropavlovskaya V. B., Bur'yanov A. F., Petropavlovskiy K. S., Novichenkova T. B. High strength gypsum materials // *Fizika, khimiya i mekhanika materialov*. 2019. Vol. 1. Iss. 20. P. 3–13.
32. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. The use of hydrophobizing additives to increase the water resistance of products based on gypsum-cement-pozzolanic binder // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2018. Vol. 21. № 2. P. 40–44.
33. Pervyshin G. N., Yakovlev G. I., Gordina A. F., Keriene J., Polyanskikh I. S., Fischer H.-B., Rachimova N. R., Buryanov A. F. Water-resistant Gypsum Compositions with Man-made Modifiers // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 172. P. 867–874.
34. Khozin V. G., Nizamov R. K., Abdrakhmanova L. A. Modification of building polymers (polyvinyl chloride and epoxy) with single-walled carbon nanotubes // *Stroitel'nyye materialy*. Vol. 1-2. P. 55–61.
35. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A., Khozin V. G. Modification of brick loam with multilayer carbon nanotubes for the production of wall ceramics // *Stroitel'nyye materialy*. 2017. Vol. 9. P. 14–17.
36. Method of obtaining moisture resistant products based on gypsum: pat. of the Rus. Federation 2381902. № 2007108551/03 ; decl. 25.07.2005 ; publ. 20.02.2010. Bull. in № 5. 13 p.
37. Butt Yu. M., Sychev M. M., Timashev V. V. Chemical technology of binders. M. : Vysshaya shkola, 1980. 237 p.
38. Vasilik P. G., Kalashnikov R. V., Buryanov A. F., Fisher H.-B. Investigation of the causes of cracks in materials based on gypsum binder // *Stroitel'nyye materialy*. 2015. Vol. 6. P. 88–90.
39. Bullerjahn F., Skocek J., Haha M. B., Scrivener K. Chemical shrinkage of ye'elimite with and without gypsum addition // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 200. P. 770–780.
40. Melo Neto A. A., Cincotto M. A., Repette W. L. Mechanical properties, drying and autogenous shrinkage of blast furnace slag activated with hydrated lime and gypsum // *Cement and Concrete Composites*. 2010. Vol. 32. Iss. 4. P. 312–318.
41. Kalabina D. A., Yakovlev G. I., Drokhitka R., Grakhov V. P., Pervushin G. N., Bazhenov K. A., Troshkova V. V. Rheological activation of fluoroanhydrite compositions by polycarboxylate ethers // *Stroitel'nyye materialy*. 2020. Vol. 1-2. P. 38–47. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-38-47.
42. Lifanov I. S., Sherstyukov N. G. Metrology, means and methods of quality control in construction: Ref. Benefit. M. : Stroyizdat, 1979. 223 p.
43. Petropavlovskaya V. B., Novichenkova T. B., Belov D. V., Barkaya A. T. Creep deformation of gypsum composites : dig. of art. International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhova / Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Belgorod, 2019. P. 330–334. DOI: 10.12737/conferencearticle_5cecdc3bc1066.56536029.
44. Bychkov A. S. Creep of expanded clay concrete based on gypsum binder of increased water resistance from phosphogypsum // *Stroitel'nyye materialy i oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2005. Vol. 12. № 83. P. 26–27.

45. Pachon-Rodriguez E. A., Kolombani J. Mechanism of drywall creep under the influence of moisture // *Alitinform. Tsement. Beton. Sukhiye smesi*. 2012. Vol. 1. Iss. 23. P. 106–112.
46. Pachon-Rodriguez E. A., Guillon E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement // *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 63. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.05.004.
47. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., Sextl G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster // *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 98. P. 122–129.
48. Liang S., Wei Y. New insights into creep and creep recovery of hardened cement paste at micro scale // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 248. 118724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118724.
49. Yakovlev G., Drochytka R., Pervushin G., Grahov. V., Kalabina D., Gordina A., Ginchitskaya J. Structural and Thermal Insulation Materials Based on High-Strength Anhydrite Binder // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 603. 032071. DOI: 10.1088/1757-899X/603/3/032071.