

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-25-34

**Сидорова А.С.*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

**E-mail Sidorovaas96@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБАВКИ ПЕРЛИТА КАК ЭЛЕМЕНТА ВНУТРЕННЕГО УХОДА В СИСТЕМЕ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. На современном этапе развития материаловедения существует большое количество способов снижения усадочных деформаций в системах цементных композитов. Однако далеко не каждый из этих способов можно отнести к категории надежных, способных в любых условиях обеспечить эффект безусадочности. Особенно актуальной данная проблема становится, когда речь идет о бетонах и растворах, которые предназначены для производства работ в сложных условиях, например, ремонтные составы.

Проанализированы основные способы ухода за свежееотформованным бетоном, обосновано введение перлитового песка в качестве агента внутреннего ухода для снижения усадки при изготовлении ремонтных растворов. Описана методика измерения усадки при помощи измерительного комплекса ТЕРЕМ 4.0.

Рассмотрено влияние замещения части мелкого заполнителя (кварцевого песка) легким заполнителем (перлитовым песком). Получены графики зависимостей величины усадки при разном содержании перлитового песка и в условиях низкой и повышенной влажности окружающей среды. Установлено, что введение в состав цементно-песчаного раствора перлита мелкой фракции, как замену части песка, в количестве не более 5 % по объему является эффективным способом снижения усадочных деформаций в сухих условиях твердения ($\varphi \leq 40\%$).

Ключевые слова: цементный камень, легкий заполнитель, перлит, внутренний уход, усадочные деформации.

Введение. Возникновение дефектов в строительных конструкциях может быть связано со множеством причин: ошибки при проектировании, нарушение правил производства работ, несоблюдение условий эксплуатации зданий и сооружений, ошибки при проведении реконструкций и пр. В случаях разрушения конструкций, вызванных преждевременным износом, становятся актуальными вопросы ремонта строительных объектов для продления сроков их эксплуатации.

Проведение ремонтных работ, как правило, осуществляется в гораздо более сложных условиях, чем возведение монолитных конструкций на строительной площадке или производство бетонных композитов в заводских условиях. Наряду с обеспечением таких характеристик как хорошая удобоукладываемость при низком водоцементном отношении, высокая адгезия к основанию и быстрый набор прочности крайне важно достичь показателя низкой усадки. В рамках настоящего исследования рассматриваются вопросы снижения усадочных деформаций бетонов, предназначенных для проведения ремонтных работ.

Возникновение усадки, которая приводит к уменьшению объема цементного камня, является одной из основных причин трещинообразования в бетонных конструкциях [1]. Величина усадки свежееуложенного и твердеющего бетона связана с различными факторами:

- изменением распределения, перемещением и испарением влаги – влажностная усадка
- уменьшением объема продуктов реакции гидратации по сравнению с объемом исходных материалов – контракционная усадка [2];
- карбонизацией гидроксида кальция, развивающейся с поверхности бетона вглубь – карбонизационная усадка [1].

Контракционная усадка развивается в период твердения цементного камня и в большей степени способствует изменениям в поровой структуре материала. Влажностная и карбонизационная усадки происходят уже в затвердевшем бетоне [2]. Обычно около 70 % общей усадки происходит в возрасте до семи дней, оставшиеся 30 % – к моменту достижения года.

На данный момент существует большое количество исследований, направленных на поиски способов компенсации и предотвращения усадочных деформаций [3–6].

Основные методы снижения усадки:

1. Применение расширяющих добавок сульфаталюминатного типа. Расширение бетона в данном случае происходит за счет образования гидросульфаталюмината кальция высокосульфатной формы (эттрингит), который возникает в процессе гидратации алюминатов кальция в присутствии сульфат-ионов. При этом важно подчеркнуть, что стабильный рост кристаллов эттрингита в ранний период твердения бетона возможен только в условиях надлежащего

влажностного ухода [7]. Нарушение технологии может привести к отсутствию эффекта расширения, а в некоторых случаях создаст условия для отложенного формирования этtringита [8] и развитию коррозии III вида, что станет причиной трещинообразования.

2. Введение высокомодульных волокон фибры позволяет улучшить параметры структуры, увеличить прочность бетона даже при неблагоприятных условиях твердения. Необходимо отметить, что данный способ направлен именно на сдерживание возникающих в затвердевших бетонах и растворах напряжений, а не на устранение причин их появления.

3. Снижение расхода портландцемента так же позитивно сказывается на снижении усадочных деформаций, т.к. в бетоне изменяется соотношение «цементный камень-заполнитель», соответственно снижается доля цементного камня в общем объеме бетона.

4. Обеспечение надлежащего ухода за бетоном, который позволит в значительной степени снизить влажностную усадку, а в некоторых случаях и вовсе её исключить.

Особый интерес при проектировании ремонтного состава представляет именно способ обеспечения надлежащего ухода, как один из наиболее эффективных с точки зрения предотвращения возникновения напряжений, вызванных миграцией влаги из твердеющего раствора.

Большинство из традиционных приемов базируется на внешних методах ухода, которые подразделяются на водные и безводные (рис. 1).

Производство ремонтных работ часто сопровождается перепадами температуры и влажности

окружающей среды, а осуществление надлежащего внешнего ухода не только не всегда экономически целесообразно, но и, порой, технически невозможно. Концепция внутреннего ухода значительно отличается от концепции внешнего ухода [10]. Внутренний уход может осуществляться путем введения компонентов, выступающих в роли дополнительных резервуаров с влагой, которая в процессе формирования гидратных образований будет вытягиваться под воздействием капиллярных сил в более мелкие поры цементного камня. Принципиальная разница между концепциями внутреннего и внешнего ухода представлена на рис. 2. В качестве агентов внутреннего ухода могут выступать, например, водонасыщенные легкие заполнители или суперабсорбенты [11].

При безводном уходе применяются различные приемы, которые способствуют предотвращению испарения влаги из толщи бетона:

- Синтетические покрытия применяются для укрытия поверхности конструкции паронепроницаемым материалом.

- В качестве мембран используются эмульсии, которые наносятся на бетон методом распыления и после застывания образуют защитный слой [12].

- Водорастворимые химические соединения, имеющие гидроксильные и эфирные функциональные группы, способствуют улучшению удержания влаги в бетоне и активизации процессов гидратации. Образующиеся водородные связи между этими группами помогают снизить паропроницаемость и уменьшить испарение воды [10].

Уход за бетоном

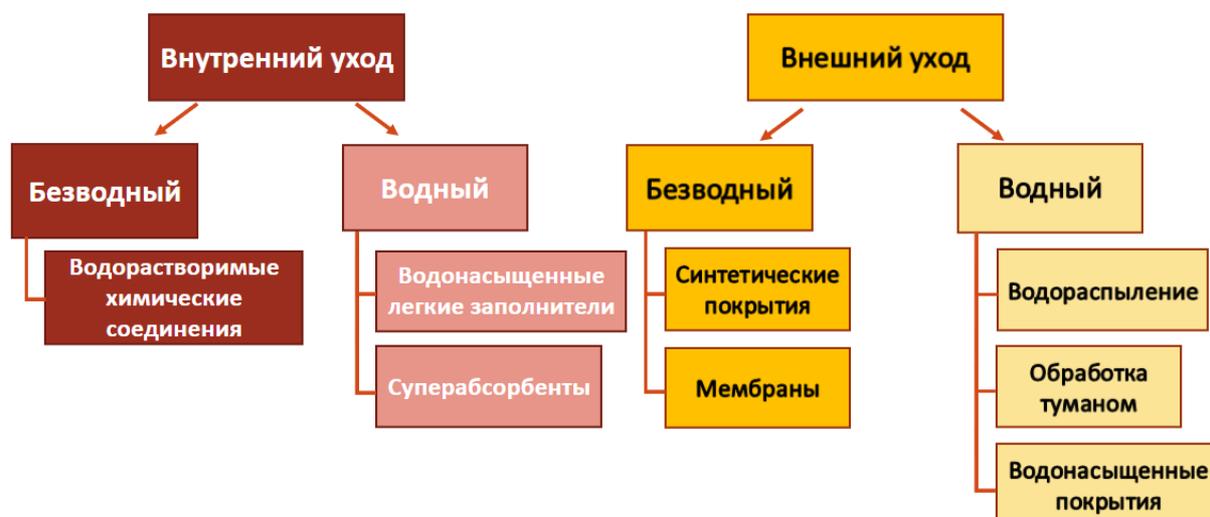


Рис. 1. Классификация методов ухода за бетоном от международного комитета RILEM [9]

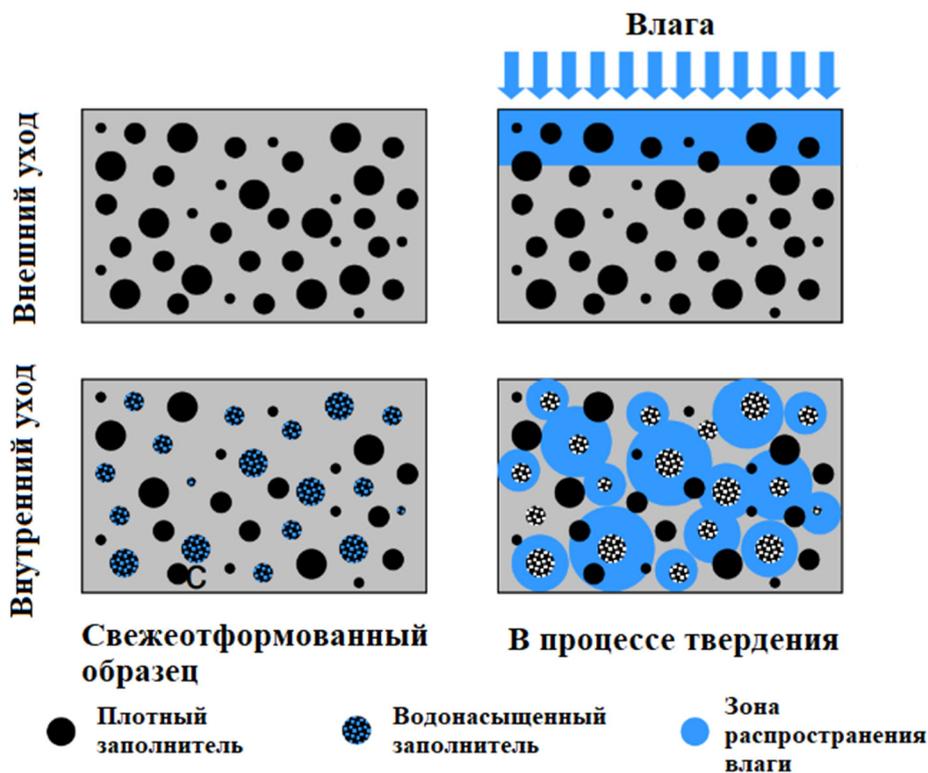


Рис. 2. Механизм распространения влаги при внешнем и внутреннем уходе [13]

Современные зарубежные исследования рассматривают использование концепции внутреннего ухода как эффективный способ борьбы с возникновением аутогенной усадки. Под данным термином понимают «уменьшение макроскопического объема бетона, вызванное контракционной усадкой и самовысушиванием вследствие непрерывной гидратации цементного теста в среде с постоянной температурой и влажностью» [14]. Считается, что аутогенная усадка развивается в высокопрочных цементных бетонах с низким водоцементным отношением (менее 0,4). Благодаря более плотной структуре таких композитов и отсутствию большого количества капиллярных пор влагообмен с окружающей средой не столь значительно влияет на процессы развития усадки. Малое количество воды в системе и повышенный расход цемента приводят к тому, что межпоровое пространство цементного камня буквально обезвоживается (самовысушивается) в процессе гидратации. Это вызывает формирование тонкой пористости и появление менисков, которые оказывают высокие сжимающие напряжения на стенки пор, что приводит к появлению трещин. Несмотря на важность тепловлажностного ухода за свежесуложенным бетоном, внешний уход не способствует снижению аутогенной усадки. Более эффективным способом снижения усадочных деформаций в данном случае считается применение методов внутреннего ухода.

Данные методы могут быть также эффективны при условиях, когда реализация внешнего

ухода затруднена или невозможна из-за крайне сжатых сроков проведения работ, например, при осуществлении противоаварийных мероприятий.

Цель данного исследования состоит в оценке степени влияния замещения мелкого заполнителя вспученным перлитом в разных дозировках на величину усадки при различной влажности среды твердения бетонных образцов.

Материалы и методы. В качестве агента внутреннего ухода для максимально равномерного распределения этого компонента по всему объему композита было принято решение использовать мелкодисперсный легкий заполнитель – вспученный перлитовый песок марки М-75. Так как вспученный перлит вводился в состав мелкозернистого бетона (т.е. крупность зерен заполнителя – не более 5 мм), применялся перлитовый песок группы ВПС (классификация в соответствии с ГОСТ 10832-2009).

Вспученный перлит – пористый материал, получаемый термической обработкой дробленых вулканических водосодержащих пород. В строительстве данный материал применяется, как правило, для изготовления сборных железобетонных конструкций, теплоизоляционных легких бетонов и штукатурных растворов, перлитобетонного утеплителя и пр. [15, 16]. Вспученный перлит характеризуется высоким коэффициентом водопоглощения за счет своей высокопористой структуры и большой открытой поверхности [17], поэтому в данном

случае его применение требует дополнительной обработки гидрофобизаторами. В рамках текущего эксперимента высокое водопоглощение перлитовых зерен, которое возрастает с уменьшением крупности гранул и объемного насыпного веса, играет положительную роль. Для вспученного перлита характерна высокая скорость водопоглощения: за первые 15 минут нахождения в водной среде перлит способен поглотить 80–90 % от общего объема воды, которое он может поглотить [18].

В соответствии с гипотезой, в процессе перемешивания сухие мелкодисперсные зерна перлитового песка впитают часть воды затворения, и за счет этого будет сформирован более прочный контактный слой на поверхности раздела фаз «цементный камень – пористый наполнитель» [19]. В дальнейшем, уже в процессе твердения, более мелкие поры цементного камня будут вытягивать поглощенную ранее влагу из более крупных пор наполнителя, компенсируя таким образом в теле бетона ту воду, что будет испаряться в условиях невысокой влажности окружающей среды.

Обзоры исследований применения вспученного перлита при производстве бетона позволяют выделить следующие преимущества данного материала: повышается подвижность бетонной смеси, снижаются плотность, аутогенная и влажностная усадки, повышается устойчивость к растворам Na_2SO_4 , снижается теплопроводность, повышается огнестойкость и звукоизоляционные свойства [20]. К недостаткам вспученного перлита можно отнести: снижение прочности при сжатии, повышение водопоглощения и пористости композитов, а также снижение устойчивости к растворам HCl . Мелкие частицы перлита обладают высокой реакционной способностью при взаимодействии с цементом в щелочной среде и могут быть использованы в качестве добавки для улучшения свойств бетона, в частности наблюдается повышение коэффициента трещиностойкости [21].

В ходе эксперимента были изготовлены образцы-балочки из цементно-песчаного раствора (1:2) размерами $4 \times 4 \times 16$ см. Перлитовый песок добавлялся путем замещения части кварцевого песка в дозировках 5-20 % по объему с

шагом 5 %. Также был изготовлен контрольный состав без добавления перлита. Водоцементное отношение $V/C = 0,45$ сохранялось неизменным во всех 5 составах. В табл. 1 представлены результаты проведения испытаний на расплыв кольца цементно-песчаных растворов. Как видно из представленных данных, при увеличении доли перлита в составе снижение удобоукладываемости растворной смеси не наблюдалось, несмотря на высокую сорбционную способность перлитовых зерен. Можно предположить, что из-за значительной разницы в плотности ($\rho_{\text{песок}} = 1650 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{перлит}} = 44 \text{ кг/м}^3$) количество воды затворения, которое идет на смачивание поверхностикратно большего количества зерен песка, примерно равно количеству воды, которое идет на смачивание поверхности зерен перлита, а также поглощается им в процессе перемешивания смеси.

Стандартные методы измерения усадки предполагают изготовление и хранение образцов по ГОСТ 10180-2012, при этом «все образцы одной серии должны храниться вплоть до начала испытаний в одинаковых, как правило, нормальных температурно-влажностных условиях, исключающих возможность испарения влаги из бетона» (п. 4.2.6 ГОСТ 24544-2020). Таким образом, измерение усадки осуществляется уже после достижения образцами проектной прочности, а сами испытания должны проводиться при температуре $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(60 \pm 5) \%$. Измерение деформаций при таких условиях не дает представления о величине полной усадки: из расчета исключается объем контрактной и частично влажностной усадки. Более того, в реальных условиях эксплуатации будут наблюдаться более значительные деформации по сравнению с лабораторными испытаниями.

По этой причине для проведения измерений усадочных деформаций датчики линейных перемещений помещались в свежесформованную смесь, позволяя фиксировать изменения объема непосредственно в процессе твердения образцов (рис. 3, а). Далее формы хранились в течение 14 суток в условиях с разной влажностью среды. (рис. 3, б).

Таблица 1

Расплыв кольца цементно-песчаных растворов

Характеристика	КО	Состав с добавлением 5 % перлита	Состав с добавлением 10 % перлита	Состав с добавлением 15 % перлита	Состав с добавлением 20 % перлита
Расплыв кольца, мм	133	135	132	134	135

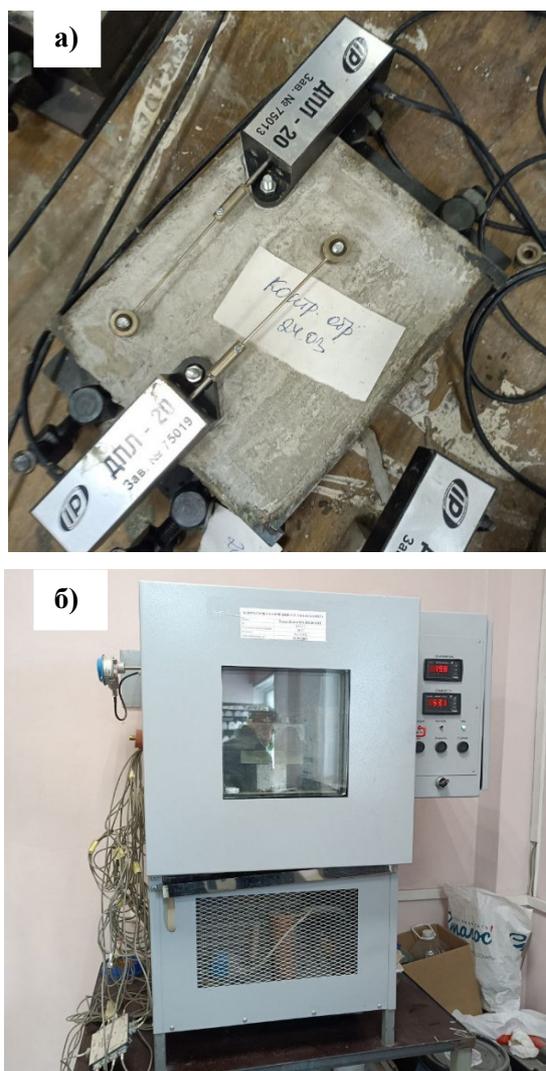


Рис. 3. Оборудование для проведения испытаний:
 а – установленные в образцы датчики линейных перемещений прибора ТЕРЕМ 4.0; б – климатическая испытательная камера Тепло-Влага М 0/100-80 кВт

Результаты и обсуждение. На рис. 4 представлены графики, показывающие развитие усадочных деформаций контрольного состава и составов с замещением части песка перлитом в условиях пониженной влажности среды.

Как видно из всех четырех графиков, выдерживание образцов в среде с низкой влажностью приводит к резкому увеличению усадки в первые 3-4 часа после укладки бетонной смеси. Наиболее положительная динамика в сравнении с контрольными образцами наблюдается у состава с наименьшей долей перлита (рис. 4, а). У второго состава в первые сутки твердения также можно увидеть довольно незначительное развитие деформаций, однако уже на вторые сутки наблюдается увеличение данного параметра. К концу испытания величина усадки данного состава практически совпадает с результатами, полученными на контрольном составе (рис. 4, б). Дальнейшее

увеличение концентрации перлита не приводит к снижению усадочных деформаций. Вероятно, это связано с тем, что при замене песка более 10 % происходит значительное увеличение доли цемента в единице объема, из-за чего возникает плавающая бесконтактная структура, характерная для «жирных» растворов. Следовательно, это приводит к повышению усадки при низкой влажности окружающей среды, которую влияние внутренних агентов не в состоянии компенсировать.

На рис. 5 представлены графики, показывающие развитие усадочных деформаций контрольного состава и составов с замещением части песка перлитом в условиях более высокой влажности среды.

Из графиков видно, насколько чувствительны образцы к резким изменениям влажности даже в пределах 10 %: значительные скачки как в сторону увеличения влажности, так и в сторону уменьшения проявляются в изменении угла наклона графика усадки. Наилучшими показателями обладает состав с концентрацией перлита в количестве 20 % (рис. 5, г), который выдерживался при влажности не менее 65 %. Наибольшая усадка наблюдается у состава с 5 % перлита (рис. 5, а) при условии резкого снижения влажности на вторые сутки твердения до диапазона 40–50 %.

При сопоставлении результатов испытаний образцов в условиях низкой, средней и высокой влажности среды можно сделать вывод о том, что эффект от замены части песка перлитом в большей степени проявляется в условиях низкой влажности при низкой концентрации добавки и в условиях высокой влажности при большей доле перлита.

Выводы. Составы, используемые при ремонте бетонных конструкций, должны отвечать ряду требований. Помимо быстрого набора прочности, хорошей адгезии, совместности свойств со свойствами ремонтируемого основания, необходимым критерием является отсутствие усадки. В виду того, что ремонтные составы применяются в условиях, когда обеспечить внешний уход за свежесделанной смесью зачастую невозможно, встает вопрос о необходимости разработки материала, способного твердеть в неблагоприятных атмосферных условиях (в частности – при низкой влажности среды). С этой точки зрения введение в состав цементно-песчаного раствора перлита как замену части песка в количестве не более 5 % по объему является эффективным способом снижения усадочных деформаций в сухих условиях. При увеличении доли перлита и снижении доли песка более 10 % по объему использование перлита является нецелесообразным,

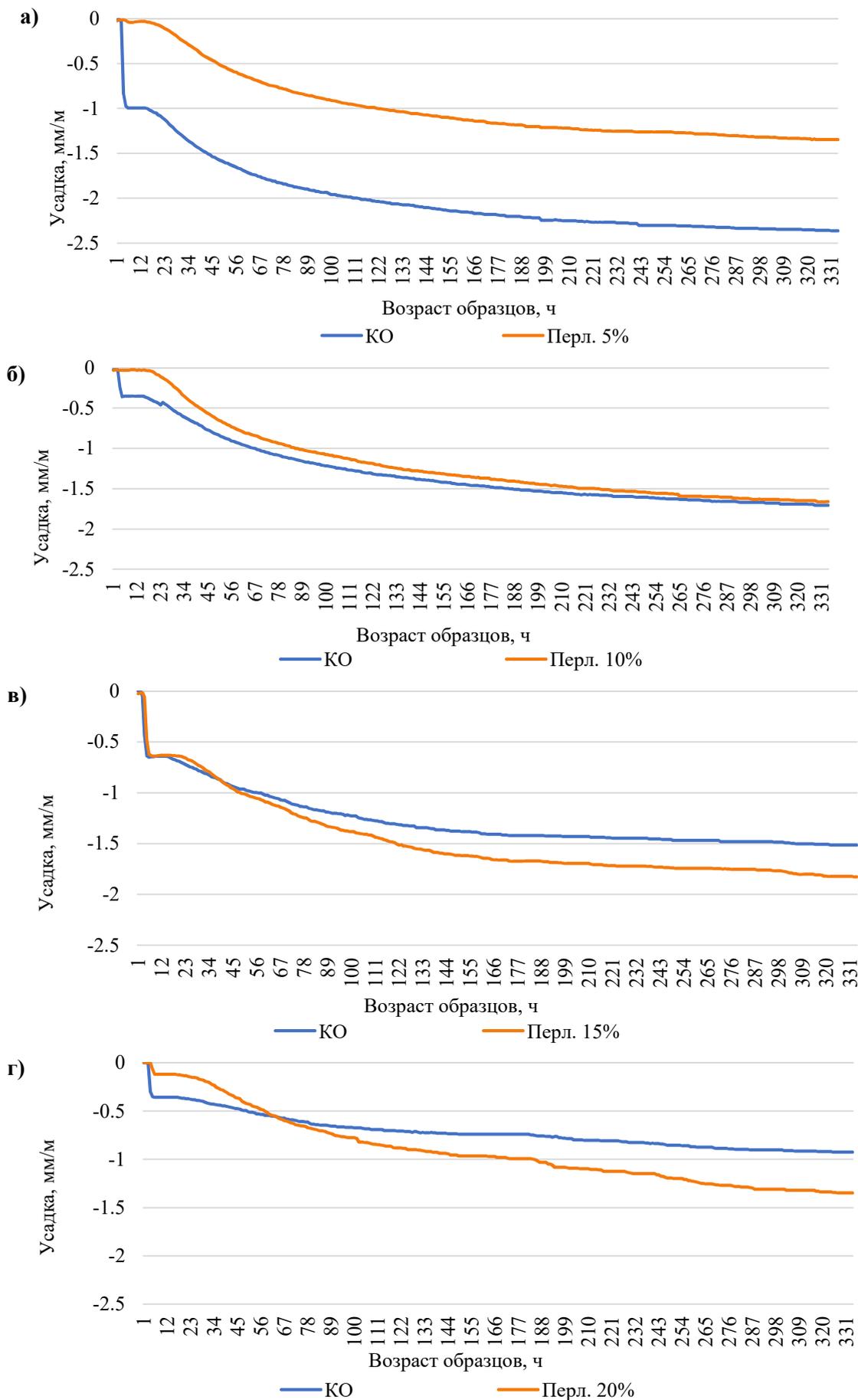


Рис. 4. Графики развития усадочных деформаций при влажности среды 30±40 % контрольного состава и составов с замещением части песка перлитом: а – 5 %; б – 10 %; в – 15 %; г – 20 %

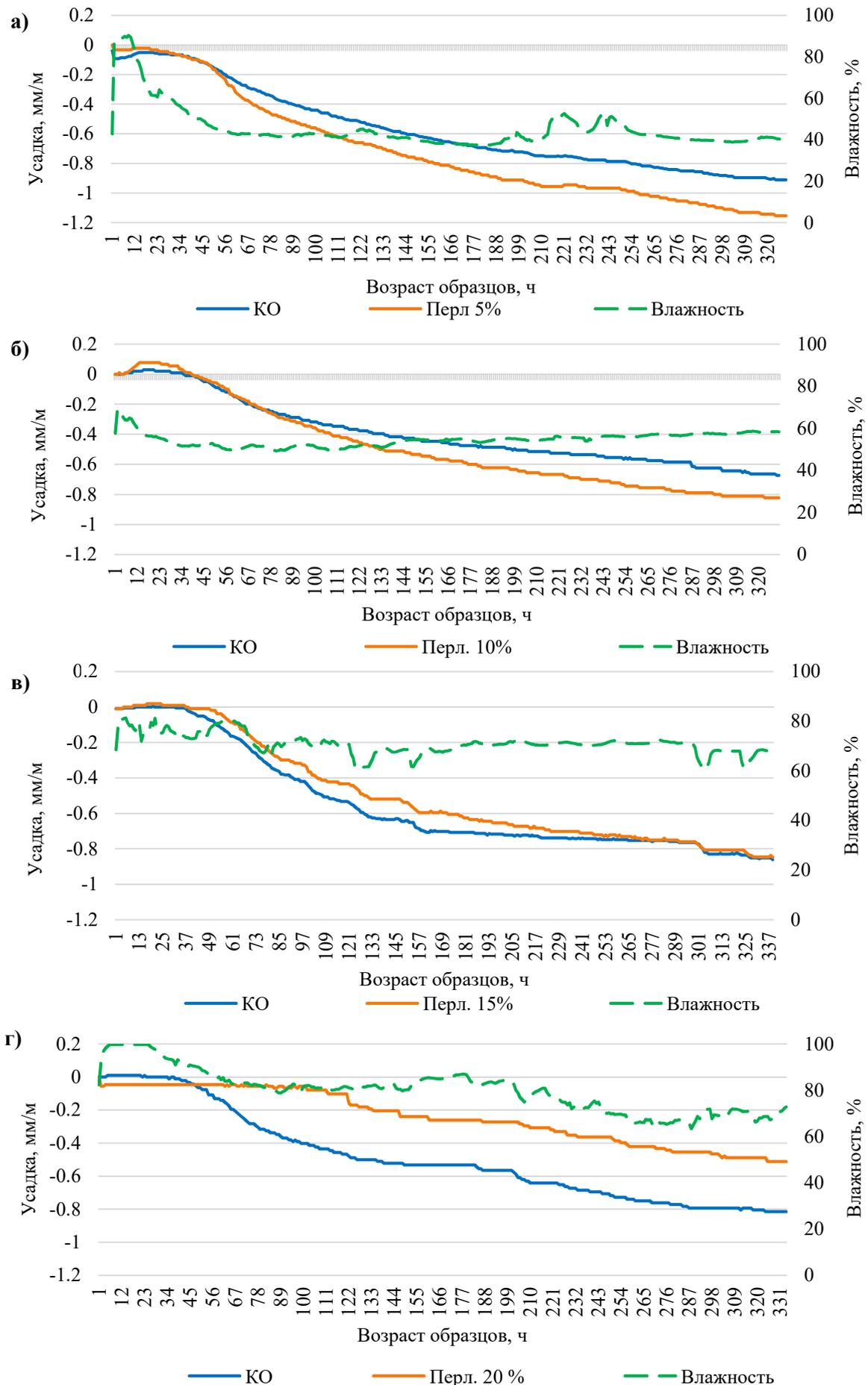


Рис. 5. Графики развития усадочных деформаций при влажности среды 40÷100 % контрольного состава и составов с замещением части песка перлитом: а – 5 %; б – 10 %; в – 15 %; г – 20 %

так как увеличение доли цемента в единице объема нивелирует положительный эффект от применения агентов внутреннего ухода.

Дальнейшие исследования могут быть связаны с изменением способа дозирования и введения перлитового песка в раствор для сохранения соотношения доли цемента к кварцевому песку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коваленко Д.С. Перспективы создания экономичных бетонов с пониженной усадкой на основе отходов промышленности // Интеграция наук. 2017. № 3 (7). С. 65–70.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высш.шк., 1987. 415 с.
3. Кузнецова Т.В., Кривобородов Ю.Р. Состав, свойства и применение специальных цементов // Технологии бетонов. 2014. № 2(91). С. 8–11.
4. Каспер Е.А., Бочкарева О.С. Мелкозернистые бетоны, дисперсно-армированные базальтовой фиброй // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1(25). С. 135–138.
5. Лесовик В.С., Гридчина А.А. Монолитные бетоны на основе расширяющих добавок и химических модификаторов // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 81–83.
6. Еленова, А.А., Кривобородов Ю.Р. Синтез расширяющей добавки для устранения усадки цементного камня // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12, № 3(102). С. 326–333. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.326-333.
7. Назарова А.В., Ал-Маршди К.С.Р., Коваленко Д.С. Эффективные способы минимизации усадочного трещинообразования в цементобетоне // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. № 2(124). С. 65–70.
8. Taylor H.F.W., Famy C., Scrivener K.L. Delayed ettringite formation // Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 31, Iss. 5. Pp. 683–693. DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00466-5.
9. RILEM Report 41. Internal curing of concrete – state of the art. In: Kovler K, Jensen O.M. editors. RILEM Publications S.A.R.L. 2007. 161 p.
10. Ковлер К., Оле Йенсен М., Фаликман В. Как сделать хороший бетон еще лучше? // Технологии бетонов. 2005. № 1. С. 52–60.
11. Hamzah N., Mohd Saman H., Baghban M.H., Mohd Sam A.R., Faridmehr I., Muhd Sidek M.N., Benjeddou O., Huseien G.F. A Review on the Use of Self-Curing Agents and Its Mechanism in High-Performance Cementitious Materials // Buildings. 2022. № 12 (152). DOI: 10.3390/buildings12020152.
12. Barabanshchikov Iu.G., Popyvanova Z.D., Usanova K.Iu., Akimov S.V. The Effectiveness of Polymer-Paraffin Emulsions to Reduce Moisture Loss from Hardening Concrete // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. № 3 (88). 8801. DOI: 10.18720/CUBS.88.1.
13. Bentz D.P., Weiss W.J. Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review // US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. 2011. 82 p. DOI: 10.6028/NIST.IR.7765.
14. Williams A., Markandeya A., Stetsko Yu., Riding K., Zayed A. Cracking potential and temperature sensitivity of metakaolin concrete // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 120. Pp. 172–180. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.087.
15. Алексеева Л.В., Нациевский С.Ю. Опыт применения вспученного перлита в строительстве // Строительные материалы и изделия. 2013. №5-6 (82-83). С. 62–64.
16. Крупа А.А. Физико-химические основы получения пористых материалов из вулканических стекол. Киев: Вища школа, 1978. 136 с.
17. Нациевский С.Ю., Алексеева Л.В. Производство сухих строительных смесей с применением вспученного перлита // Сухие строительные смеси. 2012. № 6. С. 26–27.
18. Седакова М.Т. Применение перлитобетона в жилищном строительстве. М.: Стройиздат, 1971. 118 с.
19. Зайченко Н.М., Лахтарина С.В. Конструкционный лёгкий бетон с внутренним уходом // Строитель Донбасса. 2018. № 1(2). С. 7–16.
20. Rashad A.M. A synopsis about perlite as building material – a best practice guide for Civil Engineer // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 121. Pp. 338–353. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001.
21. Харитонов А.М., Сидорова А.С., Андреев Д.М. Применение добавки вспученного перлита для модификации свойств цементных композитов // Цемент и его применение. 2023. № 4. С. 72–75.

Информация об авторах

Сидорова Анастасия Сергеевна, аспирант кафедры технологии строительных материалов и метрологии. E-mail: Sidorovaas96@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила 14.04.2024 г.

© Сидорова А.С., 2024

Sidorova A.S.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail Sidorovaas96@mail.ru

ANALISYS OF PERLITE ADDITIVE AS INTERNAL CURE AGENT IN CEMENT CONCRETE SYSTEM

Abstract. At the present stage of development of materials science, there are a large number of ways to reduce shrinkage in cement composite systems. However, not every of these methods can be classified as reliable, capable of providing the effect of non-shrinkage under any conditions. This problem becomes especially relevant when it comes to concretes and mortars that are intended for work in difficult conditions, for example, repair mortars.

The main methods of curing for freshly molded concrete are analyzed, and the use of perlite sand as an internal maintenance agent to reduce shrinkage in the manufacture of repair mortars is justified. A method for measuring shrinkage using the TEREM 4.0 measuring complex is described.

The effect of replacing part of the fine aggregate (quartz sand) with light aggregate (perlite sand) is considered. Graphs of the dependences of the shrinkage value were obtained for different contents of perlite sand and under conditions of low and high environmental humidity. It has been established that the introduction of fine fraction perlite into the cement-sand mortar, as a replacement for part of the sand, in an amount of no more than 5 % by volume is an effective way to reduce shrinkage deformations in dry conditions ($\varphi \leq 40$ %).

Keywords: hardened cement paste, lightweight aggregate, perlite, internal cure, shrinkage.

REFERENCES

1. Kovalenko D.S. Prospects of creating an economical concrete with reduced shrinkage based on waste industry [Perspektivy sozdaniya ekonomichnyh betonov s ponizhennoj usadkoj na osnove othodov promyshlennosti]. Integraciya nauk. 2017. No 3. Vol.7. Pp. 65–70. (rus)
2. Bazhenov Yu.M. Concrete technology [Tekhnologiya betona]. Moscow: Higher school, 1987. 415 p. (rus)
3. Kuznetsova T.V., Krivoborodov Yu.R. Composition, properties and application of special cements [Sostav, svoystva i primenenie special'nyh cementov]. Concrete Technologies. 2014. Vol. 91, Iss. 2. Pp. 8–11. (rus)
4. Kasper E.A., Bochkareva O.S. Fine-grained concrete, dispersedly reinforced with basalt fiber [Melkozernistye betony, dispersno-armirovannye bazal'tovoj fibroj] Systems. Methods. Technologies. 2015. Vol. 25, Iss. 1. Pp. 135–138. (rus)
5. Lesovik V.S., Gridchina A.A. Monolithic concrete based on expanding additives and chemical modifiers [Monolitnye betony na osnove rasshiryayushchih dobavok i himicheskikh modifikatorov]. Construction materials. 2015. No. 8. Pp. 81–83. (rus)
6. Elenova A.A., Krivoborodov Yu.R. Synthesis of an expanding additive to eliminate shrinkage of cement stone [Sintez rasshiryayushchej dobavki dlya ustraneniya usadki cementnogo kamnya]. Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12, No. 3(102). Pp. 326–333. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.3.326-333. (rus)
7. Nazarova A.V., Al-Marshdi K.S.R., Kovalenko D.S. Effective ways to minimize shrinkage cracking in cement concrete [Effektivnye sposoby minimizacii usadochnogo treshchinoobrazovaniya v cementobetone]. Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2017. Vol. 124, Iss. 2. Pp. 65–70. (rus)
8. Taylor H.F.W, Famy C, Scrivener K.L. Delayed ettringite formation. Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 31, Iss. 5. Pp. 683–693. DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00466-5.
9. RILEM Report 41. Internal curing of concrete – state of the art. In: Kovler K, Jensen O.M. editors. RILEM Publications S.A.R.L. 2007. 161 p.
10. Kovler K., Ole Jensen M., Falikman V. How to make good concrete even better? [Kak sdelat' horoshij beton eshche luchshe?]. Concrete technologies. 2005. No 1. Pp. 52–60. (rus)
11. Hamzah N., Mohd Saman H., Baghban M.H., Mohd Sam A.R., Faridmehr I., Muhd Sidek M.N., Benjeddou O., Huseien G.F. A Review on the Use of Self-Curing Agents and Its Mechanism in High-Performance Cementitious Materials. Buildings. 2022. Vol. 152, Iss. 12. DOI: 10.3390/buildings12020152.
12. Barabanshchikov Iu.G., Popyvanova Z.D., Usanova K.Iu., Akimov S.V. The Effectiveness of Polymer-Paraffin Emulsions to Reduce Moisture Loss from Hardening Concrete. Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 88, Iss. 3. 8801. DOI: 10.18720/CUBS.88.1.
13. Bentz D.P., Weiss W.J. Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. 2011. 82 p. DOI: 10.6028/NIST.IR.7765.
14. Williams A., Markandeya A., Stetsko Yu., Riding K., Zayed A. Cracking potential and temperature sensitivity of metakaolin concrete. Construction

and Building Materials. 2016. Vol. 120. Pp. 172–180. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.087.

15. Alekseeva L.V., Natsievsky S.Yu. Experience in using expanded perlite in construction [Opyt primeneniya vspuchennogo perlita v stroitel'stve]. Construction materials and products. 2013. Vol. (82-83), Iss. 5-6. Pp. 62–64. (rus)

16. Krupa A.A. Physico-chemical basis for obtaining porous materials from volcanic glasses [Fiziko-himicheskie osnovy polucheniya poristykh materialov iz vulkanicheskikh stekol]. Kyiv: Vishcha School, 1978. 136 p. (rus)

17. Natsievsky S.Yu., Alekseeva L.V. Production of dry building mixtures using expanded perlite [Proizvodstvo suhih stroitel'nyh smesey s primeneniem vspuchennogo perlita]. Suhie stroitel'nye smesi. 2012. No. 6. Pp. 26–27. (rus)

18. Sedakova M.T. Application of perlite concrete in housing construction [Primenenie perlitobetona v zhilishchnom stroitel'stve]. Moscow.: Stroyizdat, 1971. 118 p. (rus)

19. Zaichenko N.M., Lakhtarina S.V. Structural lightweight concrete with internal maintenance [Konstrukcionnyj lyogkij beton s vnutrennim uhomom]. The Donbas Contractor. 2018. Vol. 2, Iss. 1. Pp. 7–16. (rus)

20. Rashad A.M. A synopsis about perlite as building material – a best practice guide for Civil Engineer. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 121. Pp. 338–353. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001.

21. Kharitonov A.M., Sidorova A.S., Andreev D.M. Expanded perlite additive for modification of properties of cement composites [Primenenie dobavki vspuchennogo perlita dlya modifikacii svoystv cementnyh kompozitov]. Cement and its application. 2023. Iss. 4. Pp. 72–75. (rus)

Information about the authors

Sidorova, Anastasia S. Postgraduate student. E-mail: Sidorovaas96@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St Petersburg, st. 2nd Krasnoarmeiskaya, 4.

Received 14.04.2024

Для цитирования:

Сидорова А.С. Исследование добавки перлита как элемента внутреннего ухода в системе цементных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №7. С. 25–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-25-34

For citation:

Sidorova A.S. Analysis of perlite additive as internal cure agent in cement concrete system. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 7. Pp. 25–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-25-34