

УДК 691.54: 691.535

Файзрахманов И.И. – аспирант

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Халиуллин М.И. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Леклу А.-Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Ali-Nordine.Leklou@univ-nantes.fr

Амири О. – доктор технических наук, профессор

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Политехнический университет Нанта

Адрес организации: BP 50609, Франция, г. Нант, ул. Кристиан Фаук, д. 1

Влияние тонкодисперсных отсевов бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов

Аннотация

Постановка задачи. Целью настоящей работы явилось исследование влияние добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома на усадочные деформации и трещиностойкость строительных растворов на основе портландцемента при их твердении.

Результаты. С применением стандартных и оригинальных методов исследования изучено влияние добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома: на кинетику тепловыделения твердеющих цементных композиций, характер которой связан с деформациями усадки цементного камня в ранние сроки твердения; на трещинообразование раствора при усадке в стеснённых условиях, на изменение модуля упругости твердеющего раствора.

Выводы. Установлена возможность получения строительных растворов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома без существенного снижения прочности раствора. Показано, что при увеличении содержания добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в составе цементных композиций наблюдается снижение тепловыделения при их твердении. Установлено, что совместное введение добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома и пластификатора обеспечивает повышение трещиностойкости растворов при усадке в стеснённых условиях до показателей, существенно превышающих показатели трещиностойкости растворов без введения добавки. Показано, что введение комплексной добавки не приводит к существенным снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

Ключевые слова: отсевы бетонного лома, раствор, портландцемент, трещинообразование, модуль упругости.

Введение

Возрастающее потребление промышленностью природных ресурсов и образование отходов приводит к негативным воздействиям на окружающую среду. Одной из проблем, связанных с ростом численности населения и урбанизацией, является рост объемов строительных отходов. Согласно данным Европейской Комиссии порядка 23 % от всех отходов строительной отрасли составляет бетонный лом [1].

Промышленность строительных материалов относится к числу наиболее материалоемких отраслей, потребляя до 30 % всех добываемых природных ресурсов [2].

Одним из основных направлений снижения материалоемкости производства строительных материалов является расширение применения промышленных отходов взамен природного сырья. Вторичная переработка бетона – это один из наиболее эффективных способов использования строительных отходов [3]. Из основных

компонентов бетонов и строительных растворов наиболее энергоемким и дорогим в производстве является портландцемент. Вопросам снижения содержания портландцемента в бетонах и строительных растворах без ухудшения свойств и качества строительной продукции с целью уменьшения себестоимости и энергоемкости ее производства посвящен широкий спектр работ отечественных и зарубежных исследователей [4-6]. Одним из наиболее перспективных решений в этой области является применение в составе бетонных, растворных и сухих строительных смесей тонкодисперсных отсевов бетонного лома.

В ранее опубликованных авторами настоящей работы результатах исследований [7] показана возможность введения в состав цементных напольных самовыравнивающихся сухих строительных смесей без существенного снижения прочностных показателей растворов тонкодисперсного отсева бетонного лома с заменой до 15 % портландцемента. Исследованы основные физико-механические свойства полученных растворов и не уступающих соответствующим показателям свойств промышленных аналогов. Показано, что полученный эффект при введении добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома обусловлен проявлением эффекта стерического стеснения и процесса твердения ранее негидратировавших частиц портландцементного клинкера в составе добавки.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов на основе портландцемента в процессе их твердения.

Методы и материалы

При проведении исследований для приготовления строительных растворов использовались следующие материалы.

Портландцемент класса СЕМ I 52,5 N по EN 197-1 (ЦЕМ I 52,5Н по ГОСТ 31108), производства компании «Сiments Calcia S.A.», Франция.

Тонкодисперсный отсев бетонного лома региона Иль-де-Франс (Франция), следующего химического состава (содержание в % по массе): CaO – 28,03; SiO₂ – 40,58; Al₂O₃ – 3,64; Fe₂O₃ – 1,56; TiO₂ – 0,2; MnO – 0,05; MgO – 1,1; SO₃ – 0,67; K₂O – 0,58; Na₂O – 0,2; P₂O₅ – 0,09; SrO – 0,05; ППП – 22,99.

Стандартный песок в соответствии с EN 196-1.

Пластификатор «СIMFLUID DUO 3032» на основе модифицированного поликарбоната производства компании «Sika AG.» (Швейцария) по NF EN 934-2.

Подготовка тонкодисперсного отсева бетонного лома осуществлялась следующим образом. Дробленный бетонный лом измельчался в лабораторной мельнице. Полученный продукт просеивался через сито № 008. Отсеянный порошок высушивался при температуре 105 °С в течение 24 часов.

Изготовление и испытания образцов осуществлялось в соответствии с EN 196-1, EN 1015-2, EN 1015-3, EN 1015-10, EN 1015-11.

Исследование кинетики тепловыделения при твердении портландцемента с введением добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома в количестве от 0 до 30 % осуществлялось согласно методике ГОСТ 310.5 с использованием 8-канального изотермического калориметра TAM AIR производства фирмы «TA Instruments». Постоянная температура внутри измерительного канала составляла 20 °С [8].

Исследования влияния добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома на трещиностойкость строительных растворов при усадке в стеснённых условиях осуществлялось согласно методике американского стандарта ASTM C1581-04, а также методик, представленных в работах [9, 10]. Испытание производилось с применением устройства, разработанного в Политехническом университете Нанта (Франция) (рис. 1) [10].

Устройство состоит из двух колец: внутреннего стального диаметром 190 мм, толщиной 10 мм и внешнего пластикового диаметром 290 мм. Высота колец составляет 40 мм. В полость между кольцами укладывают растворную смесь, где она твердеет в нормальных условиях.

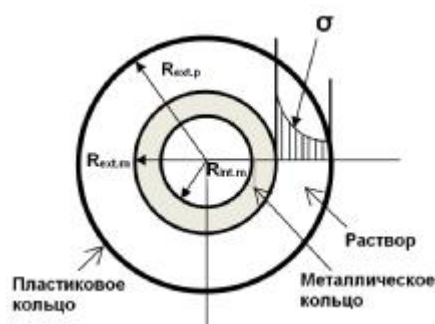


Рис. 1. Схема устройства для определения трещиностойкости строительных растворов при усадке в стеснённых условиях

Испытания проводились в климатической камере при температуре 40 °С. Стальное кольцо предотвращает сжатие раствора, создавая в твердеющем растворе внутренние деформации и растягивающее напряжение:

$$\sigma_{int}(t) = -\varepsilon(t) \times E_M \times C_a, \quad (1)$$

где $\sigma_{int}(t)$ – максимальное внутреннее напряжение в растворе в зависимости от времени;

$\varepsilon(t)$ – деформация поверхности металлического кольца;

E_M – модуль упругости металлического кольца;

C_a – коэффициент, зависящий от геометрии кольца.

$$C_a = \frac{R_{exp}^2 + R_{extm}^2}{R_{exp}^2 - R_{extm}^2} \times \frac{R_{extm}^2 - R_{intm}^2}{2R_{extm}^2}, \quad (2)$$

где $R_{ext.p}$ – наружный радиус растворного кольца;

$R_{int.m}$ – наружный радиус металлического кольца;

$R_{ext.m}$ – внутренний радиус металлического кольца.

Когда растягивающее напряжение превышает предел прочности раствора на растяжение, происходит образование трещины в растворе. Стальное кольцо снабжено датчиками, позволяющими контролировать развитие деформаций поверхности стального кольца и определить момент трещинообразования раствора.

Определение динамического модуля упругости осуществлялось по измерению резонансных частот образцов раствора в соответствии с французским стандартом NF P18-414 на приборе «GrindoSonic Mk5 «Industrial»» производства бельгийской фирмы «Lemens Electronic N.V.». Для определения модуля упругости изготавливались образцы раствора – балочки размером 40×40×160 мм. Для трех типов вибрации: продольной, поперечной и торсионной, генерируемых ударом и воспринимаемых акселерометром определялась резонансная частота вибрации образца. На основании результатов измерений рассчитывался модуль упругости.

Результаты и обсуждение результатов

На первом этапе работы исследована кинетика тепловыделения твердеющих цементных композиций с различным содержанием добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома и постоянном водоцементном отношении 0,4. Результаты исследований приведены на рис. 2.

Представленные кривые показывают, что максимальные значения тепловыделения характерно для контрольного состава без введения добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома. С увеличением содержания добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в составе цементной композиции значение тепловыделения, соответствующего максимальному пику на кривых снижается, сдвигаясь по времени на более длительные сроки твердения, и является минимальным для цементной композиции с содержанием 30 % добавки. Известно, что количество теплоты, выделяемое при твердении цементных композиций связано с деформациями усадки, которые испытывает цементный камень в ранние сроки твердения. Таким образом, с учетом снижения тепловыделения при твердении цементных композиций с увеличением содержания добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома, в таких композициях можно ожидать снижения усадочных деформаций в ранние сроки твердения.

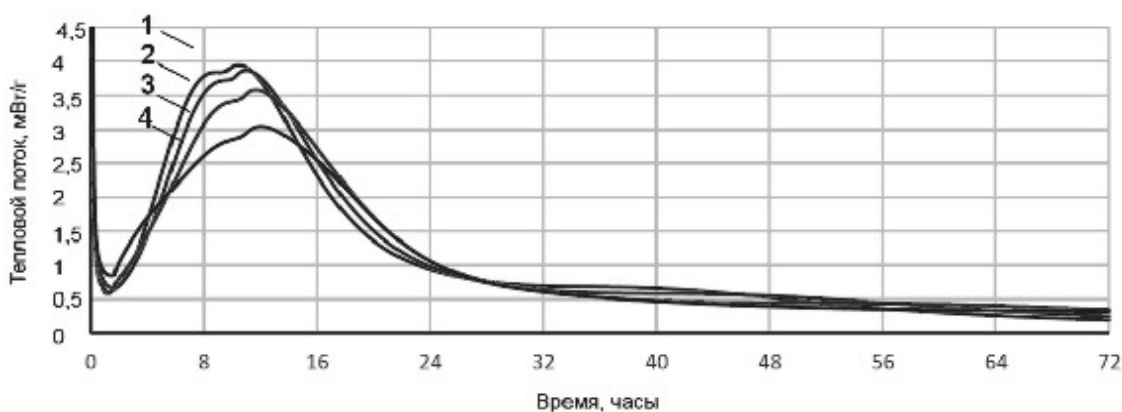


Рис. 2. Кинетика тепловыделения твердеющих цементных композиций с различным содержанием добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома (в % от массы сухой смеси): 1 – 0; 2 – 5; 3 – 15; 4 – 30

На следующем этапе работы исследовано влияние добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома на трещинообразование раствора при усадке в стеснённых условиях. Для проведения исследования изготавливались составы растворов смесей, представленные в таблице. Водоцементное отношение (В/Ц) определялось водопотребностью растворов смесей для получения стандартной консистенции в соответствии с EN 1015-3.

Таблица

Составы растворов смесей (в % по массе)

№ состава	1	2	3
Портландцемент	32	27,8	27,8
Отсев бетонного лома	-	4,8	4,8
Песок	68	68	68
Пластификатор CIMFLUID DUO 3032*	-	-	1,7
В/Ц	0,42	0,44	0,35

*Примечание: количество пластификатора представлено в % от общей массы вяжущего

Результаты выполненных исследований приведены на рис. 3-5.

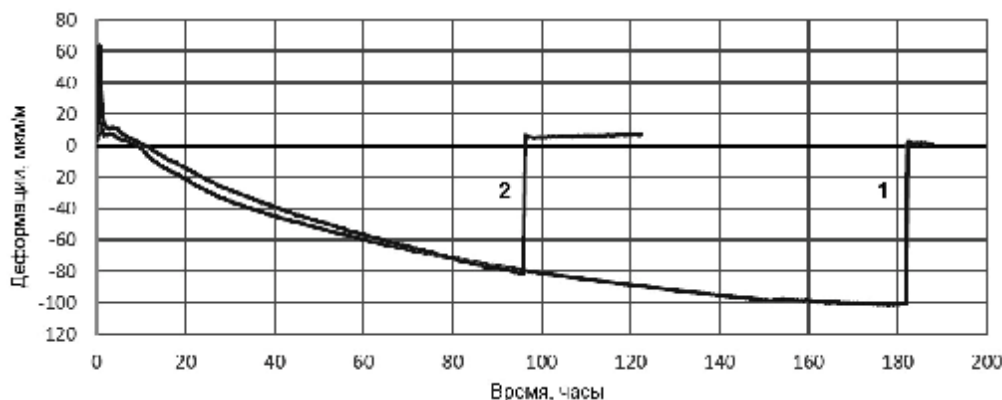


Рис. 3. Развитие деформаций в металлическом кольце во времени для растворов составов 1 и 2

Во время проведения эксперимента развитие деформации в металлическом кольце происходит в три стадии (рис. 3). На первой стадии, продолжительность которой составляет до 10 часов с начала проведения эксперимента не наблюдаются сжимающие

деформации металлического кольца. На второй стадии, продолжительность которой составляет от 10 часов с начала проведения эксперимента до времени образования трещины, усадка раствора (до преодоления предела его прочности) вызывает увеличение сжимающей нагрузки на металлическое кольцо. Возникающее напряжение вызывает деформации металлического кольца до момента образования трещины в растворе. Образование трещины сопровождается резким скачком на кривых рис. 3. На третьей стадии после образования трещины в растворе, деформация металлического кольца находится в пределах нулевого значения и эксперимент может быть завершён.

Для состава 1 без введения добавки тонкодисперсного отсева бетонного лома первая трещина была зафиксирована (резкий скачок кривой на рис. 3) через 182 часа после начала испытаний. Для состава 2 с добавкой тонкодисперсного отсева бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента первая трещина была зафиксирована через 96 часов после начала испытаний.

Таким образом, введение в состав раствора добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве до 15 % от массы портландцемента снижает трещиностойкость раствора, вероятно, вследствие снижения его прочностных показателей.

Для повышения трещиностойкости растворов с добавкой тонкодисперсных отсевов бетонного лома за счёт увеличения его прочности в состав растворной смеси вводился пластификатор CIMFLUID DUO 3032, позволяющий при сохранении стандартной консистенции смеси снизить на 9 % водоцементное отношение. По данным исследований, приведенным в работе [2], для раствора состава 3 при совместном введении добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 показатели прочности при сжатии и изгибе (соответственно, 62,6 и 9,2 МПа) практически не уступает прочности при сжатии и изгибе (соответственно, 63,4 и 10,0 МПа) раствора состава 1 без введения добавок.

Согласно результатам исследований трещинообразования раствора при усадке в стеснённых условиях для раствора состава 3 при совместном введении добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 образование трещин для данного состава не наблюдалось даже спустя 1100 часов с начала проведения эксперимента (рис. 4).

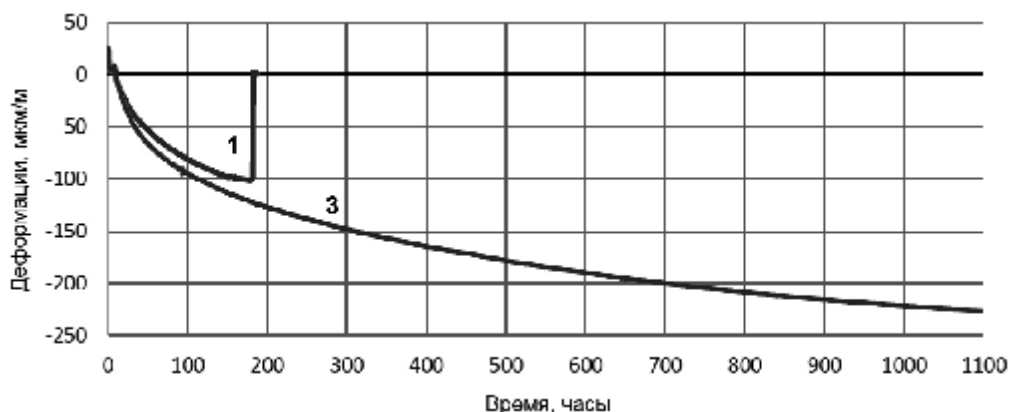


Рис. 4. Развитие деформаций в металлическом кольце во времени для растворов составов 1 и 3

На третьем этапе работы исследовано изменение динамического модуля Юнга в процессе твердения образцов растворов составов 1 и 3 (табл.). Согласно результатам исследований, представленных на рис. 5, введение добавки тонкодисперсных отсевов бетонного лома в количестве 15 % от массы портландцемента и пластификатора CIMFLUID DUO 3032 не приводит к существенным (свыше 10 %) снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

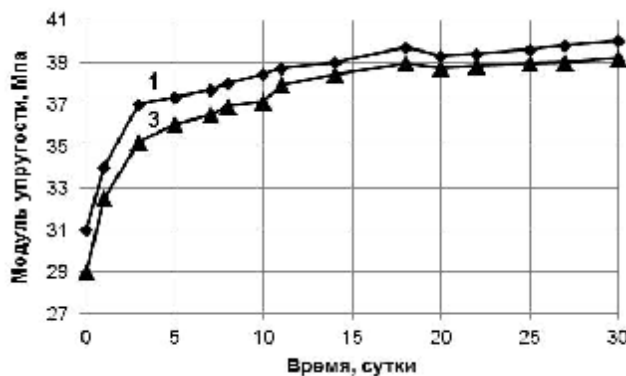


Рис. 5. Изменение модуля упругости растворов во времени для составов 1 и 3

Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований установлена возможность получения строительных растворов с заменой до 15 % портландцемента в составе вяжущего на тонкодисперсный отсев бетонного лома без существенного снижения прочностных показателей раствора. Показано, что с учетом снижения тепловыделения при твердении цементных композиций с добавкой тонкодисперсных отсевок бетонного лома, в таких композициях можно ожидать снижения усадочных деформаций в ранние сроки твердения. Установлено, что совместное введение добавки тонкодисперсных отсевок бетонного лома в количестве до 15 % от массы портландцемента и пластификатора обеспечивает повышение трещиностойкости растворов при усадке в стеснённых условиях до показателей, существенно превышающих показатели трещиностойкости растворов без введения добавки. Показано, что введение комплексной добавки не приводит к существенным снижениям модуля упругости раствора по сравнению с бездобавочным составом.

Список библиографических ссылок

1. Гурьева В. А., Лунёва О. А. Рациональное использование бетонного лома: материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» / Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2014. С. 635–638.
2. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Фатыхов Г. А. К комплексному использованию шлаков и бетонного лома в производстве шлакощелочных вяжущих // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 218–223.
3. Чернышева Н. В., Дребезгова М. Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с минеральной добавкой бетонного лома: материалы VII Международной научно-практической конференции по гипсу «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» / Де Нова. М., 2014. С. 239–243.
4. Kwan W. H., Ramli M., Kam K. J., Sulieman M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties // Construction and Building Materials. 2012. № 26. P. 565–573.
5. Bravo M., de Brito J., Pontes J., Evangelista L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants // Construction and Building Materials. 2015. № 77. P. 357–369.
6. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М. Ш., Бисултанов Р. Г., Муртазаева Т. С.-А. Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 74–79.

7. Файзрахманов И. И., Халиуллин М. И., Леклу А.-Н., Амири О. Использование тонкодисперсных отсеков бетонного лома в цементных композициях для получения строительных растворов // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 395–401.
8. Адамцевич А. О., Пашкевич С. А., Пустовгар А. П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3. С. 36–42.
9. Grzybowski M., Shah S. P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete // ACI Materials Journal. 1990. Vol. 87. № 2. P. 138–148.
10. Shah H. R., Weiss J. Quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using the ring test // Materials and Structures. 2006. Vol. 39. № 9. P. 887–899.

Faizrakhmanov I.I. – post-graduate student

E-mail: faizrakhmanov92@gmail.com

Khaliullin M.I. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: khaliullin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Leklou A.-N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Amiri O. – doctor of technical science, professor

E-mail: Ouali.Amiri@univ-nantes.fr

Polytech Nantes

The organization address: BP 50609, France, Nantes, Christian Pauc st., 1

The influence of the fine screenings of concrete waste on the deformation and fracture toughness of mortar

Abstract

Problem statement. The aim of this work was to study the influence of additives of fine screenings of concrete waste on the shrinkage deformation and crack resistance of mortars based on Portland cement when hardening.

Results. Using standard and original methods of research studied the influence of additives of fine screenings of concrete waste: on the kinetics of heat-curing cement compositions, the nature of which is associated with the shrinkage deformations of cement stone at early stages of hardening; for cracking of the mortar shrinkage in the constrained conditions, the change of the modulus of elasticity of hardened mortar.

Conclusions. The possibility of obtaining a mortar with replacement of up to 15 % of Portland cement in the binder for fine screening of concrete waste without significantly reducing the strength of the solution. It is shown that with increasing content of additives fine screenings of concrete waste in the composition of the cement compositions, a decrease in heat when hardening. It is established that the joint introduction of the additive of fine screenings of concrete waste and plasticizer provides increased fracture toughness of mortars shrinkage in cramped conditions to levels that significantly exceeds the fracture toughness of mortars without additive injection. It is shown that the introduction of a complex additive does not lead to a significant reduction in the modulus of elasticity of the mortar compared to the cement with no composition.

Keywords: screening of concrete waste, mortar, portland cement, cracking, modulus of elasticity.

References

1. Gureva V. A., Luneva O. A. Rational use concrete waste: materials of Russian scientific-methodical conference «University complex as a regional center of education, science and culture» / Orenburg state University. Orenburg, 2014. P. 635–638.

2. Rakhimov R. Z., Rakhimova N. R., Fatykhov G. A. To the complex use of slags and concretewaste in production of slag-alkaline bindings // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 218–223.
3. Chernysheva N. V. Drebezgova M. Y. Composite gypsum binder with the mineral additive of concrete waste: proceedings of the VII International scientific-practical conference «Improving efficiency of production and application of gypsum materials and products» / *De Novo*. M., 2014. P. 239–243.
4. Kwan W. H., Ramli M., Kam K. J., Sulieman M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties // *Construction and Building Materials*. 2012. № 26. P. 565–573.
5. Bravo M., de Brito J., Pontes J., Evangelista L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants // *Construction and Building Materials*. 2015. № 77. P. 357–369.
6. Murtazaev S.-A. Yu, Salmanova M. S., Bisultanov R. G., Murtazayeva T. S. A. Of high Quality modified concrete using a binder based on reactive mineral component // *Stroitelnye materialy*. 2016. № 8. P. 74–79.
7. Faizrahmanov I. I. Khaliullin M. I., Leklou A.-N., Amiri O. Use the fine screenings of concrete waste in a cement composition for producing mortar // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 4 (38). P. 395–401.
8. Adamtsevich A. O., Pashkevich S. A., Pustovgar A. P. Application of calorimetry for prognosticating strength increase of fast-curing cement systems // *Magazine of Civil Engineering*. 2013. № 3. P. 36–42.
9. Grzybowski M., Shah S. P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete // *ACI Materials Journal*. 1990. Vol. 87. № 2. P. 138–148.
10. Shah H. R., Weiss J. Quantifying shrinkage cracking in fiber reinforced concrete using the ring test // *Materials and Structures*. 2006. Vol. 39. № 9. P. 887–899.