

УДК 678.643.425.033:620.193.8

Строганов Виктор Федорович

доктор химических наук, профессор

E-mail: svf08@mail.ru

Сагадеев Евгений Владимирович

доктор химических наук, профессор

E-mail: sagadeev@list.ru

Ибрагимов Руслан Абдирашитович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Пименов Сергей Иванович

кандидат технических наук, ассистент

E-mail: 3.14manon@mail.ru

Потапова Людмила Ильинична

кандидат химических наук, доцент

E-mail: ludmilapo@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Стоянов Олег Владиславович

доктор технических наук, профессор

E-mail: ov_stoyanov@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Исследование влияния механоактивации на биостойкость цементно-песчаных растворов

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования - изучение влияния на биостойкость цементно-песчаных растворов механической активации минерального вяжущего и введения суперпластификатора.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в проведении кинетических исследований по определению биостойкости модифицированных цементно-песчаных растворов, полученных с механической активацией портландцемента.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в итоге проведенных совместных кинетических и ИК-спектральных исследований можно сделать вывод, что введение суперпластификатора и проведение механической активации минерального вяжущего повышают биостойкость цементно-песчаных растворов.

Ключевые слова: механоактивация, цементно-песчаный раствор, лимонная кислота.

Введение

Как известно, одним из путей увеличения технологических и эксплуатационных характеристик минеральных строительных материалов является механическая активация цемента (различными методами), позволяющая наиболее полно использовать минеральное вяжущее [1-4]. Так, за счет более тонкого измельчения механическими способами, порошка цемента можно ускорить процесс гидратации кремнезема, повысить активность вяжущего и, таким образом, увеличить прочностные свойства строительных материалов [5-9]. Другим способом увеличения технологических характеристик минеральных строительных материалов является применение суперпластификаторов - органических модифицирующих добавок, которые позволяют снизить водоцементное отношение, повысить подвижность раствора, увеличить физико-химические свойства цементно-песчаных растворов (ЦПР) и др. [10-12]. Известно, что ЦПР, полученные с механической активацией минерального вяжущего и модифицированные введением

суперпластификатора обладают повышенными технологическими характеристиками [13]. Однако, как следует из литературы, изучение влияния механической активации и введения суперпластификаторов в ЦПР на их биоповреждение до настоящего времени не проводилось. В этой связи, целью настоящего исследования является изучение влияния на биостойкость модифицированных ЦПР активации минерального вяжущего.

Объекты и методы исследований

Для исследований применяли портландцемент ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 Новотроицкого цементного завода, соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2016.

Механическую активацию портландцемента проводили в аппарате с вихревым слоем (АВС) (модель 297, производитель ООО «Регионметранс»). Типовая конструкция АВС подробно представлена в работе [14].

В качестве суперпластификатора применяли нафталинформальдегидную добавку Реламикс Т-2 (аналог добавки С-3). Дозировка суперпластификатора составила 1 % от массы портландцемента.

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2,7, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-2014.

Для проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 310.4-81 образцы ЦПР изготавливали в виде балочек размером 160×40×40 мм тремя сериями:

1. контрольный состав ЦПР;
2. состав ЦПР, модифицированный добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2;
3. состав ЦПР, модифицированный добавкой суперпластификатора Реламикс Т-2 с механической активацией портландцемента в АВС в течение 5 мин.

ИК-спектральное исследование проводилось при стандартных условиях регистрации на спектрофотометре Perkin Elmer FT-IR Spectrometer model Spectrum 65 в области 4000–650 см⁻¹ с помощью приставки неполного внутреннего отражения (ПНВО) Miracle ATR (кристалл ZnSe). Спектры сухих УНТ получали плотно прижимая порошок к поверхности элемента нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с кристаллом ZnSe.

Обсуждение результатов

В работе в качестве пластифицирующего компонента использовали нафталинформальдегидную добавку Реламикс Т-2, являющуюся поверхностно-активным веществом [15]. Схематичное изображение в виде трех стадий процесса диспергирования зерен портландцемента суперпластификатором Реламикс Т-2 и их последующего гидратирования представлено на рис. 1.

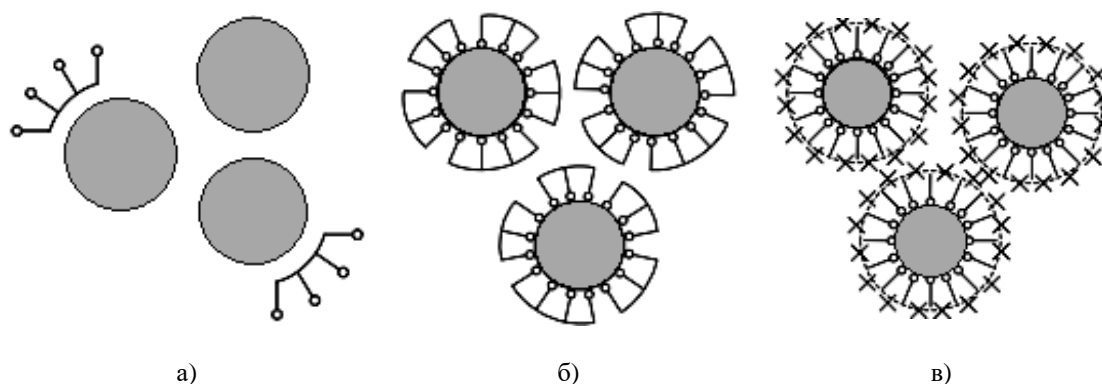


Рис. 1. Схематичное изображение предполагаемого процесса диспергирования цементных зерен в присутствии суперпластификатора Реламикс Т-2 [10]:

- а) начальный этап адсорбции суперпластификатора Реламикс Т-2 на поверхности зерен цемента;
- б) процесс хемосорбции суперпластификатора Реламикс Т-2 на поверхности зерен цемента;
- в) диспергированные суперпластификатором гидратированные зерна цемента

Как известно, фирмы производители суперпластификаторов из коммерческих соображений практически никогда не приводят в литературе их химическую структуру. В этой связи для идентификации химической структуры суперпластификатора Реламикс Т-2 нами было проведено ИК-спектральное исследование. Полученный ИК-спектр Реламикс Т-2 приведен на рис. 2.

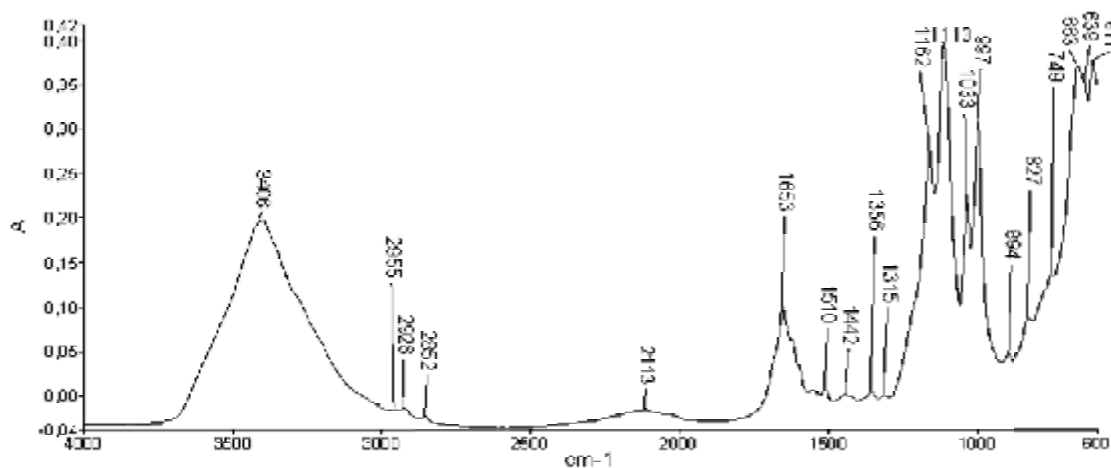


Рис. 2. ИК-спектр суперпластификатора Реламикс Т-2 (иллюстрация авторов)

На основе анализа ИК-спектра на рис. 3. можно видеть, что спектр Реламикс Т-2 характеризуется наличием широкой полосы поглощения с пиком 3406 см^{-1} , обусловленной валентными колебаниями гидроксильной ОН-группы, участвующей в водородном связывании. Относительно широкая полоса поглощения с пиком 1653 см^{-1} характерна для валентных колебаний карбонильной группы С=О.

Мелкие пики с частотами поглощения 3054 см^{-1} (скрыта широкой полосой в области $3000\text{--}3600\text{ см}^{-1}$), 1595 см^{-1} (не отмечена на спектре), 1510 см^{-1} , 1443 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями углеродных ароматических связей С-С в нафталиновом фрагменте. Как следует из литературы [16, 17], сульфокислоты, как и сульфоны, имеют полосы поглощения в областях $1210\text{--}1150$ и $1060\text{--}1030\text{ см}^{-1}$. На ИК-спектре на рис 2. характеристические полосы поглощения при 1356 , 1442 и 1180 см^{-1} (скрыта широкой полосой в области $1100\text{--}1300\text{ см}^{-1}$) характерны для сульфонов, 663 и 1033 см^{-1} – для сульфокислот.

Таким образом, на основании полученных ИК-спектральных данных можно с большой долей вероятности предположить, что суперпластификатор Реламикс Т-2 имеет следующую химическую структуру (рис. 3).

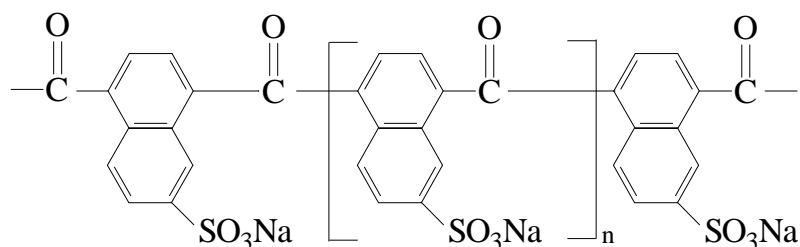


Рис. 3. Структурная формула суперпластификатора Реламикс Т-2 (иллюстрация авторов)

Как следует из рис. 3, установленная в работе химическая структура суперпластификатора Реламикс Т-2 позволяет отнести его к классу натриевых солей поликарбонилнафталинсульфоновых кислот [16], проявляющих свое пластифицирующее действие за счет снижения поверхностной энергии зерен портландцемента как поверхностно-активные вещества.

Далее в работе в продолжение ранее начатых исследований [18] моделировался процесс биоповреждения ЦПР в слабоагрессивной среде лимонной кислоты с $\text{pH} = 3$ (рекомендуемое в литературе значение для карбоновых кислот [19]) в течение восьми суток при температуре 40°C . Изучение биостойкости образцов ЦПР проводилось в лабораторной кинетической установке [20].

Полученные результаты кинетических исследований представлены на рис. 4-5.

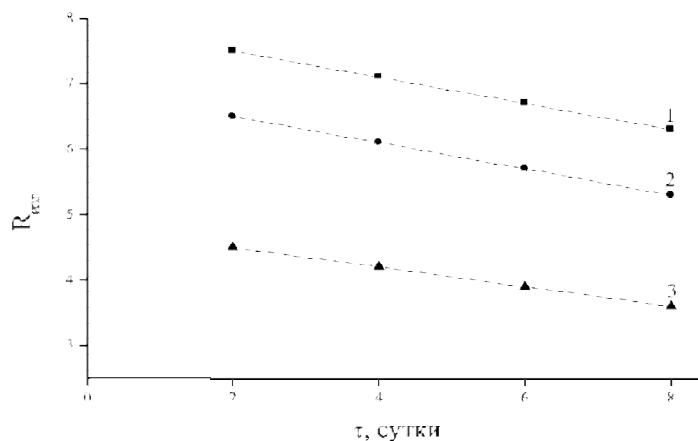


Рис. 4. Зависимость прочностных характеристик на изгиб образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде:

- 1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением Реламикс Т-2 и механоактивацией;
- 2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением Реламикс Т-2;
- 3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 (контроль)
(иллюстрация авторов)

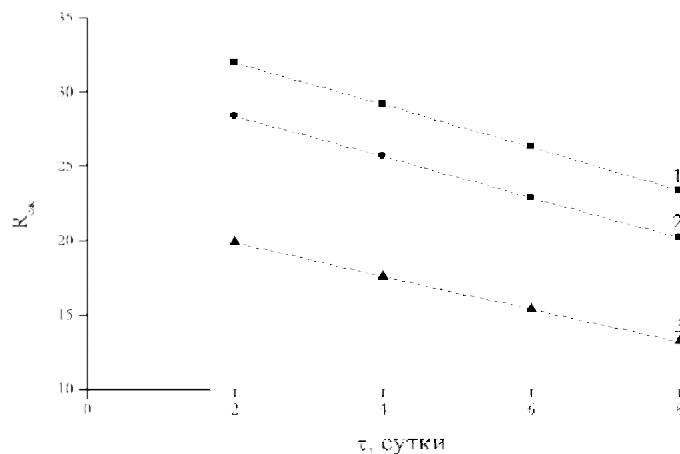


Рис. 5. Зависимость прочностных характеристик на сжатие образцов ЦПР от времени экспозиции в модельной среде:

- 1 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением Реламикс Т-2 и механоактивацией;
- 2 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с добавлением Реламикс Т-2;
- 3 – ЦПР на основе портландцемента ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 (контроль)
(иллюстрация авторов)

На основе анализа полученных кинетических результатов можно сделать вывод, что в процессе экспозиции образцов ЦПР в модельной среде наблюдается падение их прочностных характеристик на изгиб и сжатие. Все зависимости $R_{изг} = f(t)$ и $R_{сж} = f(t)$ имеют линейный характер. Коэффициент корреляции r кинетических зависимостей имеет значение не менее 0,999, а стандартное отклонение S_d равно 0,01 и менее.

Процесс взаимодействия ЦПР со средой лимонной кислоты количественно представлен в табл. в виде результатов потери прочности образцов ЦПР после экспозиции в среде.

Таблица

**Результаты потери прочности ЦПР после экспозиции
в модельной среде при температуре 40 °С в течение 8 суток**

Марка портландцемента для изготовления ЦПР	Потеря прочности, %	
	$DR_{изг}$	$DR_{с.ж}$
ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 (контроль)	28,0	54,5
ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с Реламикс Т-2	26,4	51,9
ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н/ПЦ 400-Д20 с Реламикс Т-2 и механоактивацией	19,2	48,0

Анализируя данные таблицы можно сделать вывод, что образцы ЦПР (контроль) полученные без использования суперпластификатора и проведения механоактивации характеризуются наибольшей способностью к биоповреждению. Введение суперпластификатора повышает биостойкость ЦПР. Образцы ЦПР, модифицированные добавкой Реламикс Т-2 с механической активацией минерального вяжущего, проявляют наиболее высокую степень биостойкости в изучаемом ряду ЦПР. Косвенно это можно объяснить тем, что образцы ЦПР (контроль) имеют водоцементное отношение (В/Ц) равное 0,47, а у образцов ЦПР с добавлением Реламикс Т-2 и механоактивацией В/Ц = 0,35. Известно [19], что уменьшение В/Ц приводит к снижению пористости образцов ЦПР и, соответственно, к увеличению их биостойкости.

Таким образом, изменение прочностных характеристик в ряду ЦПР в процессе экспозиции их в среде лимонной кислоты определяется не только маркой портландцемента, но и дополнительным введением суперпластификатора и проведением механической активации вяжущего.

В процессе экспозиции образцов ЦПР в лимонной кислоте первоначально бесцветный раствор модельной среды медленно окрашивался в желтовато-зеленый цвет. В процессе проведения эксперимента на дне испытательной емкости образовался осадок (предположительно малорастворимого цитрата кальция и др. солей). Следует отметить, что визуально максимальное количество осадка на дне испытательной емкости наблюдалось при экспозиции образцов ЦПР (контроль). Минимальное количество осадка в испытательной емкости наблюдалось при экспозиции образцов ЦПР с добавлением Реламикс Т-2 и механоактивацией, показавших наиболее высокую степень биостойкости в изучаемом ряду ЦПР (табл.). Далее с целью идентификации химической структуры осадка на дне испытательной емкости, было проведено его ИК-спектральное исследование. Полученный ИК-спектр осадка представлен на рис. 6.

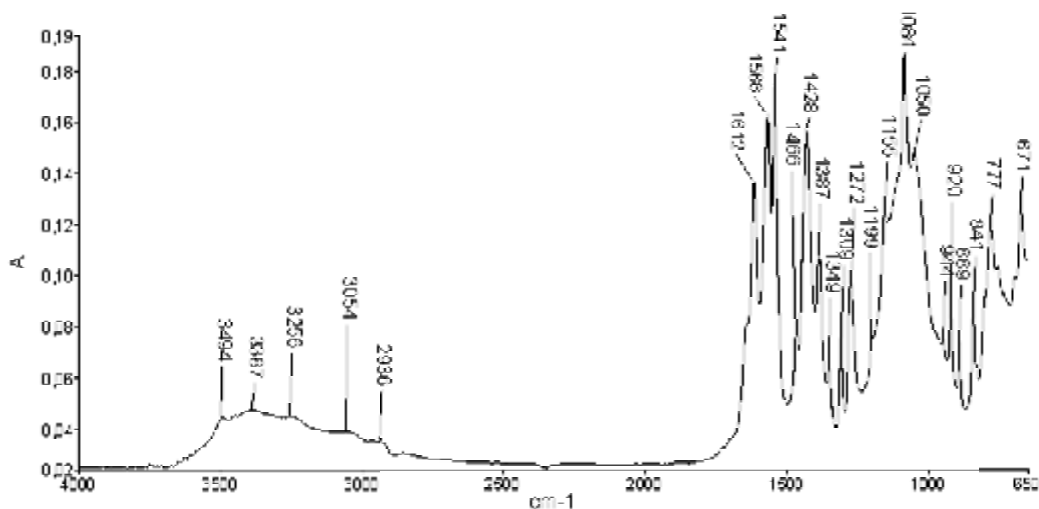


Рис. 6. ИК-спектр осадка на дне испытательной емкости (иллюстрация авторов)

При анализе в ИК-спектре осадка идентифицированы полосы поглощения в области $3500\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, соответствующие валентным колебаниям гидроксильных групп [21]. Валентным колебаниям связанной спиртовой гидроксильной ОН-группы соответствует узкий пик при 3494 см^{-1} . Уширенный триплет валентных колебаний с максимумами при 3451 см^{-1} (не обозначен на ИК-спектре), 3387 и 3256 см^{-1} , принадлежит валентным колебаниям связанных гидроксильных групп (входящих в состав карбоксильных фрагментов молекулы), участвующих в образовании ассоциатов с ионами кальция. ИК-спектр осадка также характеризуется наличием, при 3054 см^{-1} , уширенной полосы средней интенсивности, соответствующей полосе поглощения связанной спиртовой гидроксильной группы, участвующей в образовании хелатных комплексов с Ca^{2+} [21].

В «карбонильной области» ИК-спектра обнаруживаются полосы валентных асимметричных (ν_{as}) и симметричных колебаний (ν_s), принадлежащие однопольным карбоксилат-анионам COO^- : при 1566 см^{-1} (ν_{as}) и при 1466 см^{-1} (ν_s). Более узкие полосы валентных колебаний при 1541 см^{-1} (ν_{as}) и 1428 см^{-1} (ν_s) соответствует аниону центральной карбоксильной группы. Их, по-видимому, можно отнести ко всей системе хелатного комплекса с ионами кальция [21].

В ИК-спектре в области колебаний карбонильных групп имеется слегка смещенная полоса валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ группы при 1612 см^{-1} (в лимонной кислоте полоса колебаний этой группы характерна при 1654 см^{-1}). Возможно, этот сдвиг происходит за счет ослабления двойной связи карбонильной группы при её поляризации.

Полосы поглощения в области $1217\text{--}1431\text{ см}^{-1}$ соответствуют деформационным (скелетным) колебаниям гидроксильных ОН-групп. Интенсивные полосы поглощения в области $1130\text{--}1180\text{ см}^{-1}$ соответствуют валентным колебаниям $\text{C}-\text{O}$ связей. Полосу поглощения при 670 см^{-1} можно отнести к деформационным колебаниям карбоксилат-аниона COO^- [21].

На основании анализа ИК-спектра осадка можно сделать вывод, что, изученный спектр практически не содержит свободных карбоксильных групп COOH , так как все они участвуют в образовании хелатных комплексов, по-видимому, с ионами Ca^{2+} (Mg^{2+}). Карбонильные группы $\text{C}=\text{O}$ и спиртовые гидроксильные ОН-группы также различным образом ассоциированы. Для установления наиболее вероятной структуры карбоксильного катионообменника проанализированы частоты колебаний карбоксилатной группы и частоты колебаний функциональных групп.

Таким образом, с большой долей вероятности можно предположить, что идентифицированная структура осадка в виде дигидрата трикальция тетрагидрата имеет конфигурацию, представленную на рис. 7.

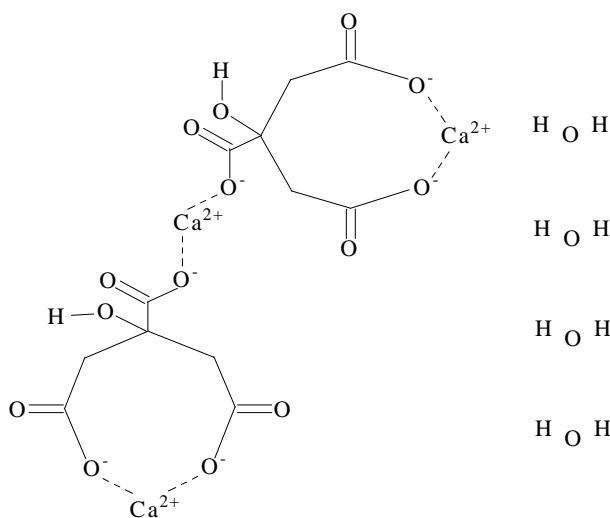


Рис. 7. Дигидрат трикальция тетрагидрата (иллюстрация авторов)

Заключение

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод, что введение суперпластификатора и проведение механической активации минерального вяжущего повышают биостойкость образцов ЦПР.

Список библиографических ссылок

1. Qian J., Shi C., Wang Z. Activation of blended cements containing fly ash // *Cement and Concrete Research*. 2001. V. 31. № 8. P. 1121- 1127.
2. Poole J. L., Riding K. A., Juenger M. C. G., Folliard K. J., Schindler A. K. Effects of supplementary cementitious materials on apparent activation energy // *Journal of ASTM International*. 2010. V. 7. № 9. P. 1- 16.
3. Sajedi F., Abdul Razak H. Thermal activation of ordinary portland cement-slag mortars // *Materials and Design*. 2010. V. 31. № 9. P. 4522- 4527.
4. Bezzubtseva M. M., Ruzhev V. A., Yuldashev R. Z. Electromagnetik mechanoactivation of dry construction mixes // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013. № 2. P. 241- 245.
5. Kumar S., Kumar R., Vandopadhyay A., Alex T. C., Ravi Kumar B., Das S. K., Mehrotra S. P. Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of Portland slag cement // *Cement and Concrete Composites*. 2008. V. 30. № 8. P. 679- 685.
6. Лотов В. А., Сударев Е. А., Кутугин В. А. Физико-химические процессы при активации цементно-песчаной смеси в центробежном смесителе // *Известия вузов. Физика*. 2011. Т. 54. № 11-3. С. 346- 349.
7. Машкин Н. А., Гутарева Н. А., Зибницкая Н. Е., Урусова Т. А., Шарыпов П. Ю. Влияние активирования цементно-песчаных суспензий на физико-механические свойства мелкозернистых бетонов // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 11-12. С. 26- 33.
8. Ибрагимов Р. А., Пименов С. И., Изотов В. С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 2. С. 63- 69.
9. Ibragimov R. A., Pimenov S. I. Features of the microstructure and phase composition of cement stone, obtained by mechanochemical activation of the binder // *ZKG International Russian Edition*. 2016. № 1. P. 34- 41.
10. Ружицкая А. В. О воздействии различных типов добавок – пластификаторов на свойства белого портландцемента // *Успехи в химии и химической технологии*. 2008. Т. XXII. № 7 (87). С. 49- 53.
11. Ибрагимов Р. А., Королев Е. В., Дебердеев Т. Р., Лексин В. В. Прочность тяжелого бетона на портландцементе, обработанном в аппарате вихревого слоя // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 28- 31.
12. Хохряков О. В., Хозин В. Г., Харченко И. Я., Газданов Д. В. Цементы низкой водопотребности - путь эффективного использования клинкера и минеральных наполнителей в бетонах // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 10 (109). С. 1145- 1152.
13. Ibragimov R. The influence of binder modification by means of the superplasticizer and mechanical activation on the mechanical properties of the high-density concrete // *ZKG International Drymix Special*. 2016. V. 69. P. 41- 45.
14. Mischenko M. V., Bokov M. M., Grishaev M. E. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field // *Technical Sciences*. 2015. № 2. P. 3508- 3512.
15. Шахова Л. Д., Черкасов Р. А., Березина Н. М., Манелюк Д. Б. Классификации технологических добавок при помолле цемента // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12 (часть 2). С. 295- 299.

16. Юхневский П. И., Широкий Г. Т. Об идентификации пластифицирующих добавок для бетонов // Science & Technique (Наука и техника, Беларусь). 2015. № 6. С. 19- 23.
17. Нечаева Л. С., Бутырская Е. В., Шапошник В. А., Селеменов В. Ф. Безэталонный молекулярный спектральный анализ катионообменников // Краткие сообщения. Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. № 5. С. 774- 783.
18. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Биоповреждение строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 5–9.
19. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов: монография. Казань : КГАСУ, 2014. 200 с.
20. Лабораторная установка для испытания образцов строительных материалов на биостойкость в модельных средах : пат. № 170410 Рос. Федерация. № 2016123279 ; заявл. 10.06.2016 ; опубл. 24.04.2017. Бюл. № 12. 1 с.
21. Кочеткова Н. А., Шапошников А. А., Хмыров А. В., Шенцева Е. А., Закирова Л. Р. Исследование структуры цитратов цинка, кобальта, марганца, закисного железа методом инфракрасной спектроскопии // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2009. № 3 (58). С. 133–136.

Stroganov Viktor Fedorovich

doctor of chemical sciences, professor

E-mail: svf08@mail.ru**Sagadeev Evgeniy Vladimirovich**

doctor of chemical sciences, professor

E-mail: sagadeev@list.ru**Ibragimov Ruslan Abdirashitovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: rusmag007@yandex.ru**Pimenov Sergey Ivanovich**

candidate of technical sciences, assistant

E-mail: 3.14manon@mail.ru**Potapova Ludmila Ilinichna**

candidate of chemical science, associate professor

E-mail: ludmilapo@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

Stoyanov Oleg Vladislavovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: ov_stoyanov@mail.ru**Kazan National Research Technological University**

The organization address: 420015, Russia, Kazan, Karl Marx st., 68

**Investigation of the effect of mechanical activation
on the biostability of cement-sand mortars****Abstract**

Problem statement. The purpose of the investigation is to study the effect on the biostability of cement-sand solutions for the mechanical activation of mineral binder and the introduction of a superplasticizer.

Results. The main results of the study consist in conducting kinetic studies to determine the biostability of modified cement-sand mortars obtained with mechanical activation of portland cement.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that, as a result of joint kinetic and IR-spectral studies, we can conclude that the introduction of a superplasticizer and the mechanical activation of the mineral binder increase the biological stability of cement-sand mortars.

Keywords: mechanical activation, cement-sand mortar, citric acid.

References

1. Qian J., Shi C., Wang Z. Activation of blended cements containing fly ash // *Cement and Concrete Research*. 2001. V. 31. № 8. P. 1121- 1127.
2. Poole J. L., Riding K. A., Juenger M. C. G., Folliard K. J., Schindler A. K. Effects of supplementary cementitious materials on apparent activation energy // *Journal of ASTM International*. 2010. V. 7. № 9. P. 1- 16.
3. Sajedi F., Abdul Razak H. Thermal activation of ordinary portland cement-slag mortars // *Materials and Design*. 2010. V. 31. № 9. P. 4522- 4527.
4. Bezzubtseva M. M., Ruzhev V. A., Yuldashev R. Z. Electromagnetik mechanoactivation of dry construction mixes // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013. № 2. P. 241- 245.
5. Kumar S., Kumar R., Bandopadhyay A., Alex T. C., Ravi Kumar B., Das S.K., Mehrotra S. P. Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of Portland slag cement // *Cement and Concrete Composites*. 2008. V. 30. № 8. P. 679- 685.
6. Lotov V. A., Sudarev E. A., Kutugin V. A. Physico-chemical processes during activation of the cement-sand mixture in a centrifugal mixer // *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2011. V. 54. № 11/3. P. 346- 349.
7. Mashkin N. A., Gutareva N. A., Zibnitskya N. Ye., Urusova T. A., Sharypov P. Yu. The effect of activated cement-sand slurry on physical and mechanical properties of fine-grained concrete // *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. № 11- 12. P. 26- 33.
8. Ibragimov R. A., Pimenov S. I., Izotov V. S. Effect of mechanochemical activation of binder on properties of fine-grained concrete // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2015. № 2. P. 63- 69.
9. Ibragimov R. A., Pimenov S. I. Features of the microstructure and phase composition of cement stone, obtained by mechanochemical activation of the binder // *ZKG International Russian Edition*. 2016. № 1. P. 34- 41.
10. Ruzhitskaya A. V. On the effects of different types of additives – plasticizers on the properties of white portland cement // *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2008. V. XXII. № 7 (87). P. 49- 53.
11. Ibragimov R. A., Korolev E. V., Deberdeev T. R., Leksin V. V. Durability of heavy-weight concrete with portland cement treated in apparatus of vortex layer // *Stroitel'nyye materialy*. 2017. № 10. P. 28- 31.
12. Khokhryakov O. V., Khozin V. G., Kharchenko I. Ya., Gazdanov D. V. Low water demand cements - way of efficient use of clinker and mineral fillers in concretes // *Vestnik MGSU*. 2017. V. 12. № 10 (109). P. 1145- 1152.
13. Ibragimov R. The influence of binder modification by means of the superplasticizer and mechanical activation on the mechanical properties of the high-density concrete // *ZKG International Drymix Special*. 2016. V. 69. P. 41- 45.
14. Mischenko M. V., Bokov M. M., Grishaev M. E. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field // *Technical Sciences*. 2015. № 2. P. 3508- 3512.
15. Shakhova, L. D., Cherkasov R. A., Berezina N. M., Maneluk D. B. Classifications of technological additives in cement milling // *Fundamental Research*. 2014. № 12 (part 2). P. 295- 299.
16. Yukhnevskiy P. I., Shirokiy G. T. The identification of plasticizers for concrete // *Science & Technique (Belarus)*. 2015. № 6. P. 19- 23.
17. Nechaeva L. S., Butyrskaya E. V., Shaposhnik V. A., Selemenev V. F. Baseless molecular spectral analysis of cation exchangers // *Kratkiye soobshcheniya. Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2010. T. 10. № 5. C. 774- 783.

18. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Biodeterioration of construction materials // *Stroitel'nye Materialy*. 2015. № 5. P. 5–9.
19. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. Introduction to the biodeterioration of construction materials: monograph. Kazan : KGASU, 2014. 200 p.
20. The laboratory setup for testing samples of construction materials on the biostability in modeling mediums : patent № 170410 of the Rus. Federation. № 2016123279 ; decl. 10.06.2016 ; publ : 24.04.2017. Bull. in № 12. 1 p.
21. Kochetkova N. A., Shaposhnikov A. A., Hmyrov A. V., Shentseva E. A., Zakirova L. R. Investigation of structure of zinc, cobalt, manganese, iron (II) citrates by IR-spectroscopy // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. № 3 (58). P. 133–136.