

В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, А.П. ФЕДОРЦОВ¹, В.А. ФЕДОРЦОВ¹¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
г. Саранск, Россия

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ АКТИВНЫМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация. Объектом исследования являются цементные композиты с активными минеральными добавками. Рассматриваются добавки, способствующие повышению коррозионной стойкости композитов. Одни из них являются активными к цементному тесту, другие к агрессивным средам. Добавки активные к агрессивным средам могут выходить к поверхности композитов и вступать в реакции с проникающими средами. В результате проведения исследований выявлены возможные механизмы физико-химического взаимодействия добавок с агрессивными средами. Образцы отверждались пропаркой и в нормальных условиях. Приводятся примеры результатов исследования кислотостойкости цементных композитов с добавками. Показатели кислотостойкости цементного камня с продуктом распада цемента в серной кислоте сравнивали с результатами, полученными при испытании цементного камня с 10% содержанием маршалита. А показатель стойкости мелкозернистого бетона с активными к агрессивной среде добавками, с хлористыми барием и стронцием, сравнивали с результатами испытания бетона без добавки и содержащим диатомит. Согласно проведенным исследованиям цементный камень с маршалитом имеет более высокую первоначальную прочность. Однако более высокие показатели прочности и стойкости после выдержки в агрессивной среде имеет цементный камень с добавкой продукта коррозии. Показано, что коррозионная стойкость пропаренного цементного камня в 2% растворе серной кислоты, как с добавкой, так и без нее значительно выше, чем камня нормального отвердевания.

Ключевые слова: цементные композиты, твердение, тепловлажностная обработка, нормальные условия, коррозионная стойкость, минеральные добавки, диатомит, активные добавки, кислотостойкость.

V.T. EROFEEV¹, A.P. FEDORCOV¹, V.A. FEDORCOV¹¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

THE INCREASING OF CORROSIVE RESISTANCE OF CEMENT COMPOSITES BY ACTIVE ADDITIVES

Abstract. The object of the study is cement composites with active mineral additives. Additives promoting corrosion resistance of composites are considered. Some are active to cement dough, others – to aggressive environments. Additives active to aggressive media can crop out to the surface of composites and react with penetrating media. The results of the research revealed possible mechanisms of physical and chemical interaction of additives with aggressive media. The samples were cured by steaming and under normal conditions. Examples of results of acid resistance study of cement composites with additives are given. The acid resistance of cement stone with the product of cement decay in sulfuric acid was compared with the results obtained in the test of cement stone with 10% marshallite content. And the index of resistance of fine-grained concrete with aggressive additives, with barium chloride and strontium, was compared with the results of testing concrete without additive and containing diatomite. According to the studies carried out cement stone with marshall has higher initial strength. However, cement stone with the addition of corrosion product has higher strength and resistance after exposure in aggressive media. It has been shown that the corrosion resistance of the steamed cement stone in 2% sulfuric acid solution, both with and without additive, is significantly higher than that of the normal hardening stone.

Keywords: cement composites, hardening, heat and moisture treatment, normal conditions, corrosion resistance, mineral additives, diatomite, active additives, acid resistance.

1 Введение

Цементные композиты самые применяемые строительные материалы. Со временем их значимость в строительном производстве не уменьшается, а напротив, возрастает [1]. В этой связи повышение их сопротивления воздействию агрессивных сред всегда будет оставаться актуальной задачей. Существует много способов повышения физико-механических свойств и коррозионной стойкости цементных композитов. Одним из основных является способ введения в составы добавок.

Самым нестойким компонентом бетона является цементный камень. Он более химически активен по сравнению с заполнителем и вследствие этого в большей степени подвержен опасности разрушения в результате химического действия агрессивной окружающей среды. При затворении цемента водой происходят процессы гидролиза и гидратации минералов цементного клинкера, в результате чего образуются сложные гидратированные, активные ко многим средам, особенно к растворам кислот, соединения [2, 3, 4].

К настоящему времени в мировой и отечественной практике разработано большое количество модификаторов, состоящих из ультра- и нанодисперсных систем в сочетании с суперпластификаторами нового поколения [5–15]. Добавочные компоненты приводят к значительному повышению прочности бетона при сжатии.

Калашников В.И. все дисперсные и тонкодисперсные наполнители разделяет на два вида в соответствии с их функциями: реакционно – активные и реологические активные [16, 17]. Термин «реакционно – активный» характеризует достаточно интенсивную пуццолановую реакцию взаимодействия аморфного кремнезема с портландцементом (МК, гидратированный каолин, белая сажа и т.п.) Молотые кварцевые или кварцсодержащие наполнители – базальт, диабаз, гранит, сиенит, кварцевый песок реакционно – активны с известью, но характеризуются замедленным, более продолжительным (латентным) периодом взаимодействия с портландитом. Другие дисперсные наполнители – известняк, доломит являются условно неактивными, так как не образуют прочных продуктов с гидроксидом кальция [18].

Одной из прорывных технологий в области получения эффективных строительных материалов являются биотехнологии, основанные на использовании микроорганизмов. К настоящему времени на высоком научно-технологическом уровне разработаны материалы, полученные посредством микробиологического синтеза [19–22]. Многие исследователи изучали применение вырабатываемого бактериями кальцита для повышения долговечности цементных изделий и восстановления зданий и сооружений [23–28]. Наиболее эффективным способом защиты строительных конструкций от поражений микроорганизмами является применение биоцидных соединений, к которым относятся фунгициды [29–32].

Вместе с тем следует отметить, что до настоящего времени, нет чёткой классификации добавок, способствующих повышению коррозионной стойкости бетонов и, соответственно, теоретических предпосылок применения отдельных их видов. Влияние добавок на свойства цементных композитов в зависимости от условий их отвердевания также изучено не в полной мере. В научной литературе имеются, например, исследования, подтверждающие эффективность активных минеральных добавок в цементные композиты, если они подвергаются пропарке или автоклавной обработке [33]. Для других видов добавок такие исследования незначительны или они вообще не проводились, в том числе веществ, предназначенных для повышения коррозионной стойкости цементных композитов.

Цель работы состояла в разработке способов повышения коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками.

Задачами исследований являлись:

1. Провести анализ активных добавок на эффективности их применения для повышения коррозионной стойкости и прочности цементных композитов.
2. Показать, что для повышения коррозионной стойкости цементных композитов могут применяться не только минеральные наполнители, активные к цементному тесту, но и добавки активные к агрессивным средам.

3. Выявить влияние условий отверждения на коррозионную стойкость цементного композита с добавкой продукта распада цемента в серной кислоте, активной к составляющим цементного теста и отличающейся своей эффективностью.

4. Поставить на обсуждение вопрос о классификации активных добавок.

Известно, что активные минеральные добавки вводят не только для экономии цементного клинкера, но и повышения коррозионной стойкости цементных бетонов, в частности их водостойкости. Согласно [34], активными минеральными добавками называются природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с гидратной известью и затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой. При этом активность добавок заключается в связывании активных форм кремнезёма и глинозёма, содержащихся в добавках, с гидроксидом кальция, который входит в состав вяжущего вещества или образуется в процессе его гидратации. Однако всегда ли необходимо условие, считать добавку активной, если она в измельченном виде совместно с гидратной известью и водой образует тесто, способное твердеть на воздухе, а после в воде?

Очевидно, что активность добавок в данном случае проявляется при их взаимодействии с внутренней средой материала. Взаимодействия приводят к образованию малорастворимых соединений, что и определяет повышение водостойкости цементных композитов. Вместе с тем сами добавки в большинстве случаев инертны к действию агрессивных сред. В этой связи заслуживают внимание водорастворимые добавки, которые являются активными по отношению к агрессивным средам и могут выходить к поверхности композитов и вступать в реакции с проникающими средами.

Применение таких добавок для повышения коррозионной стойкости композитов базируется на объективных предпосылках, что действие агрессивной среды на материал можно уменьшить, если на пути её проникновения вглубь структуры находятся специально введённые и незамедлительно реагирующие вещества [35, 36, 37]. В этом случае можно считать, что взаимодействие среды со структурообразующими составляющими элементарного объема материала начинается только после расхода в нём активного вещества добавки, т. е.

$$t_c = t_d, \quad (1)$$

где t_c – время от начала действия среды до момента ее взаимодействия со структурообразующими составляющими защищаемого объема материала; t_d – время от начала действия среды до момента полного расхода добавки для защиты объема материала.

Выбор добавок должен обеспечить условие:

$$V_d > V_c, \quad (2)$$

где V_d – скорость связывания агрессивной среды добавкой; V_c – скорость взаимодействия связующего вещества бетона с агрессивной средой.

При этом чтобы не происходило проникновение агрессивной среды вглубь изделия и разрушение цементного камня, вещества – добавки в лучшем случае должны мигрировать к его поверхности и вызывать защиту или хотя бы быть относительно свободными и не влиять определяющим образом на структурообразующие элементы материала.

В результате исследований были предложены возможные механизмы физико-химического взаимодействия добавок с агрессивными средами, а соответственно определены классы этих веществ и основанные на их применении способы повышения сопротивления цементных композитов воздействиям агрессивных сред. Основными из них являются [35, 37]:

– повышение коррозионной стойкости композитов путем введения добавок, образующих при взаимодействии с агрессивной средой нерастворимые соединения, которые, кроме ее нейтрализации, способствуют повышению плотности и прочности структуры материала, а соответственно уменьшению проницаемости;

- повышение коррозионной стойкости композитов путем введения веществ, которые хотя и образуют растворимые соединения с агрессивной средой, но своим взаимодействием приводят к уменьшению ее содержания в объеме материала;
- улучшение эксплуатационных свойств цементных композитов добавками, образующими буферные системы;
- повышение кислотостойкости композитов введением в их состав добавок - восстановителей;
- повышение коррозионной стойкости композитов веществами, способными обменивать свои ионы на ионы агрессивных сред.

2 Метод

В качестве вяжущего применяли портландцемент М500 Д0 Алексеевского цементного завода Мордовии. Для проведения исследований были изготовлены образцы из цементного камня размером 20×20×20 мм из смеси с В/Ц = 0,35 и мелкозернистого бетона состава 1:3 размером 40×40×160 мм с добавками хлористого бария, хлористого стронция, диатомита и без добавки. Образцы погружали в 2% раствор серной кислоты и после определенного времени воздействия агрессивной среды подвергали испытанию с определением предела прочности при сжатии и коэффициента стойкости. Показатели кислотостойкости цементного камня с добавкой продукта распада цемента в серной кислоте сравнивали с результатами, полученными при испытании цементного камня с 10% содержанием маршалита, отвержденного и испытанного таким же образом. Стойкость мелкозернистого бетона с добавками и без добавки оценивалась по изменению его предела прочности при сжатии за время выдержки в агрессивной среде.

3 Результаты и обсуждение

Предлагаемая работа направлена на обсуждение затронутых выше вопросов. В ней приводятся примеры результатов исследования кислотостойкости цементных композитов с добавками двух видов. Одни из них подбирались из условия активности к составляющим цементного теста [36, 39, 40, 41], а другие, к агрессивной среде [35–39]. На рисунках 1, 2 и 3 приводятся результаты исследования кислотостойкости цементного камня с добавкой продукта распада цемента в серной кислоте, отвержденного соответственно пропаркой по режиму (1,5 + 6 + 3 = 10,5 ч) с температурой изотермической выдержки 90 °С и в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2$ °С и $W = 95\text{--}100$ %).

Известно, что продукты разложения цемента в серной кислоте малорастворимы и состоят из двуводного гипса, оксидов кремния, алюминия и железа. Эти вещества входят в состав основных соединений цементного камня. При их введении в цементное тесто происходит образование низкоосновных силикатов, алюминатов, ферритов кальция и в большей степени гидросульфоалюмината кальция, которые менее активны к серной кислоте, чем гидроксид кальция, и являются центрами формирования структуры [36].

Согласно нашим исследованиям (см. рисунки 1–3) цементный камень с маршалитом имеет более высокую первоначальную прочность. Однако более высокие показатели прочности и стойкости после выдержки в агрессивной среде имеет цементный камень с добавкой продукта коррозии. Коррозионная стойкость пропаренного цементного камня, как с добавкой, так и без нее значительно выше, чем камня нормального отвердевания.

Поскольку пропаренный цементный камень с добавкой продукта не теряет прочности в течение 56 суток воздействия среды, а тот же материал нормального твердения при менее длительной выдержке в 2% H_2SO_4 потерял ее на 21 %, то очевидно, что пропарка камня в целях повышения его кислотостойкости более эффективна. В данном примере имеется два фактора, которые способствуют повышению кислотостойкости цементного камня. Первый фактор – добавка в цементный камень продукта распада цемента в серной кислоте, второй – отвердевание камня в результате пропарки. Очевидно, что если каждый фактор в отдельности способствует повышению коррозионной стойкости, то при совместном их действии эффект становится больше.

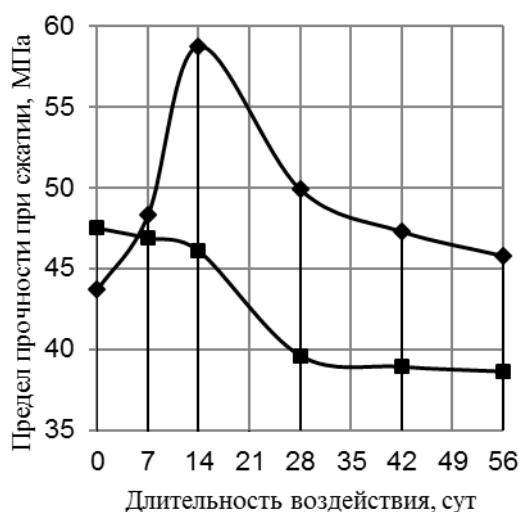


Рисунок 1 – Влияние добавки продукта распада цемента в серной кислоте на изменение прочности пропаренного цементного камня в 2% H_2SO_4 :

1 – цементный камень с добавкой маршалита (10 % от массы цемента); 2 – то же с добавкой продукта (10 % от массы цемента)

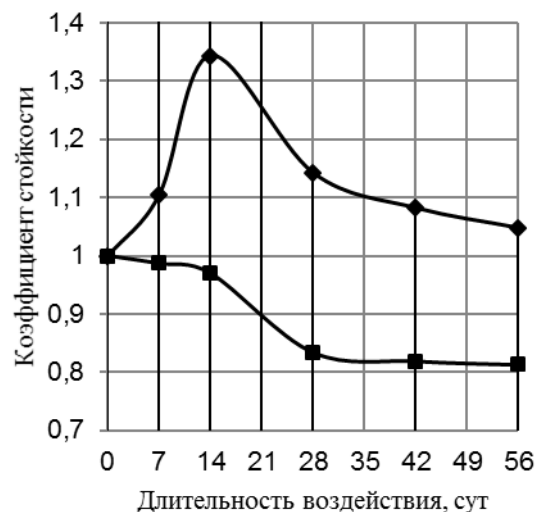
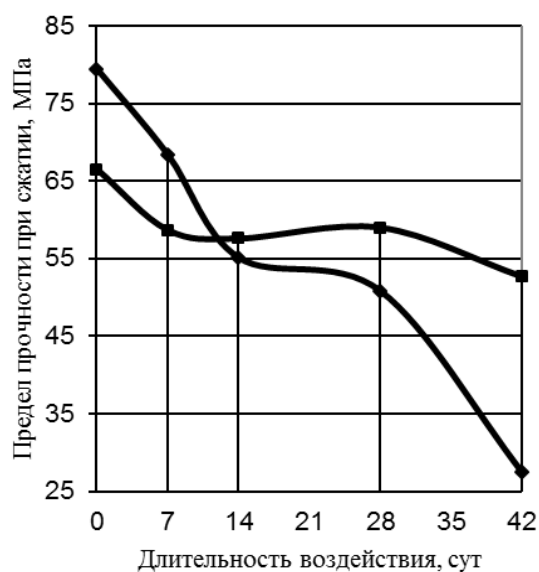
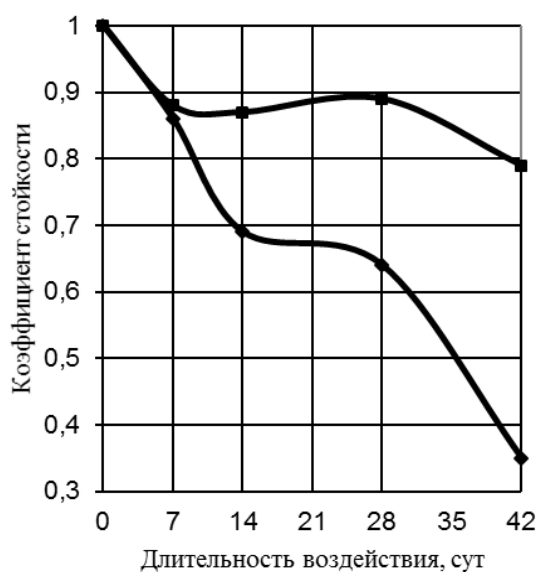


Рисунок 2 – Влияние добавки продукта распада цемента в серной кислоте на изменение коэффициента стойкости пропаренного цементного камня в 2% H_2SO_4 :

1 – цементный камень с добавкой маршалита (10 % от массы цемента); 2 – то же с добавкой продукта (10 % от массы цемента)



а)



б)

Рисунок 3 – Влияние добавки продукта распада цемента в серной кислоте на изменение прочности (а) и коэффициента стойкости (б) цементного камня, отвердевшего в нормальных условиях, в 2% H_2SO_4 [40]:
1 – композит с добавкой маршалита (10 % от массы цемента); 2 – композит с добавкой продукта коррозии цемента в серной кислоте (10 % от массы цемента)

На рисунке 4 приведены результаты исследования кислотостойкости мелкозернистых цементных бетонов нормального твердения состава 1: 3 и В/Ц = 0,47, в которые вводили в качестве добавок хлористый барий и хлористый стронций, образующих при взаимодействии с агрессивной средой (серной кислотой) нерастворимые соединения ($BaSO_4$, $SrSO_4$), и активную минеральную добавку – диатомит. Видно, что в данном случае активные к агрессивной среде добавки более эффективны.

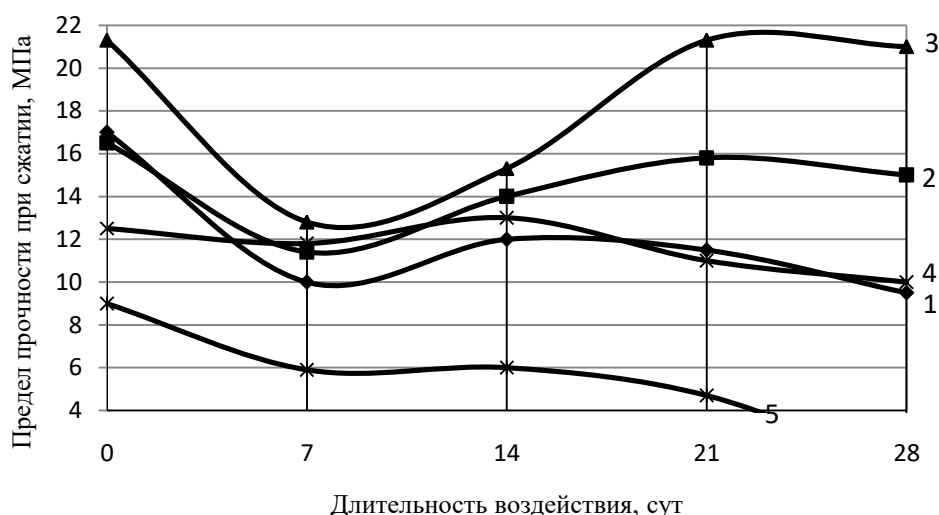


Рисунок 4 – Влияние добавок на изменение прочности бетона при выдержке в 2% серной кислоте:

1 – бетон контрольного состава, 2 – с добавкой 1,2% от массы цемента хлористого бария, 3 – то же 2,4% хлористого стронция, 4 – то же 10% диатомита, 5 – то же 50% диатомита

В настоящее время, в целях уменьшения биокоррозии цементных композитов, вводят также добавки, которые проявляют активность к микроорганизмам, угнетая их развитие и тем самым уменьшая продуцирование агрессивных сред [42, 43]. По сути дела, это добавки второго вида, т.е. они активны к агрессивной среде. В этой связи, на наш взгляд, возникла необходимость в классификации активных добавок указывать среды, к которым они проявляют свою активность, способствующую улучшению конкретных эксплуатационных свойств цементных композитов. В общем случае, на наш взгляд, активной добавкой следует называть вещество, которое вводится в состав системы и активно взаимодействует с элементами внутренней и внешней среды, или только с элементами одной из них, видоизменяя состав, структуру, а соответственно и свойства системы в зависимости от направленности действия.

4 Выводы

1. Проведены исследования кислотостойкости цементных композитов с минеральными добавками двух видов. Одни из них – активны к составляющим цементного теста, а другие – к агрессивной среде.

2. Установлено эффективное влияние на кислотостойкость цементного камня добавки продукта распада цемента в серной кислоте, являющейся активной к цементному тесту.

3. Выявлено, что цементный камень с маршалитом имеет более высокую первоначальную прочность, однако более высокие показатели прочности и стойкости после выдержки в агрессивной среде имеет цементный камень с добавкой продукта коррозии.

4. Установлено, что кислотостойкость пропаренного цементного камня, как с добавкой продукта распада цемента, так и без добавки значительно выше, чем камня нормального твердения. Примем во внимание два фактора, влияющие на стойкость композитов. Один фактор – влияние добавки, другой – влияние условий отвердевания, то можно отметить их взаимообусловленное действие. Если каждый фактор в отдельности способствует повышению коррозионной стойкости, то при совместном их действии эффект становится больше.

5. Выявлено, что добавки хлористого бария и хлористого стронция, образующие при взаимодействии с агрессивной средой нерастворимые соединения, являются эффективным средством повышения стойкости цементных композитов в растворах серной кислоты слабой концентрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М., Амимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2004. 235 с.
2. Штарк Й. Щелочная коррозия бетона. Киев : Профессия, 2010. 144 с.
3. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
4. Хердтл Р., Дитерманн М., Шмидт К. Долговечность бетонов на основе многокомпонентных цементов // Цемент и его применение. 2011. № 1. С. 76-80.
5. Акчурин Т.К., Пушкарская О.Ю., Груздев А.А. Микронаполненный цементный композит // Технологии бетонов. 2010. № 11-12. С. 16-17.
6. Скрипкюнас Г., Яковлев Г.И., Карпова Е.А., Мохамед Э.А. Изменение реологических свойств наномодифицированных цементных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 43-50.
7. Комохов П.Г. Нанотехнологии радиационного бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 5. 22-23 с.
8. Королев Е.В., Гришина А.Н., Сатюков А.Б. Химический состав наномодифицированного композиционного вяжущего с применением нано- и микроразмерных гидросиликатов бария // Нанотехнологии в строительстве: интернет-журнал. 2014. № 4 (26). С. 90-103.
9. Лесовик В.С. О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 28. С. 18-20.
10. Логанина В.И., Жегера К.В., Жерновский И.В. Структурообразование цементного камня в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 142-148.
11. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 88-91.
12. Okada K. Durability of concrete constructions // Cement and Concrete. 1986. № 470.
13. Pomeroy S. D. Concrete structures durability // Sump. Concrete durability. London, 1985.
14. Regourd M., Homan H., Mortucux B. Microstructure of concrete in aggressive environments ASTM // ASTM Special Technical Publication. Philadelphia. 1980. № 961. P. 253-268.
15. Richard P., Cheurezu. Composition of Reactive Powder Concrete. Cem. Coner. Res. 2001. Vol. 25. № 7. P. 1501-1511.
16. Калашников В.И., Тараканов О.В., Ерофеева И.В. Изучение реологической активности известняковой муки для получения эффективных бетонов // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Актуальные достижения европейской науки»: в 23 т. София, 2015. Т. 13. С. 88-90.
17. Калашников В. И. Через рациональную реологию в будущее бетонов // Технология бетонов. 2007. № 5. С. 8-10.
18. Белов В В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 25-29.
19. Tushar L., Sasi Jyothsna T.S., Sasikala C., Ramana C.V. Draft Genome Sequence of Antimicrobial-Producing Clostridium sp. JC272, Isolated from Marine Sediment // Genome Announc. 2015. Vol. 3(3). pii: e00650-15.
20. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И. Пенобетоны на основе пенообразователя из белков микробного синтеза. Получение и применение в строительстве. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. 100 с.
21. Achal V., Mukherjee A., Reddy M.S. Microbial concrete: A way to enhance the durability of concrete buildings // Journal of Materials in Civil engineering. 2011a. Vol. 23. № 6. P. 730-734.
22. Sahmaran M., Li V.C. Durability properties of microcracked ECC containing high volumes flyash // Cement and Concrete Research, 2009. Vol. 39, № 11. P. 1033-1043.
23. Wei S.M., Sanchez S.M., Trejo D., Gillis C. Microbial mediated deterioration of reinforced concrete structures // International Biodeterioration and Biodegradation. 2010. Vol. (8). P. 748-754.
24. Feldman R.F. The effect of sand cement ration and silica fume on the microstruture of mortars // Cement and Concrete Research. 1986. Vol. 16, № 3. P. 31-39.
25. De Muynck W., Debrouwer D., DeBelie N., Verstraete W. Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38, № 7. P. 1005-1014.
26. Silica fume in concrete // ACI materials journal. 1987. P. 158-166.
27. Edvardsen C. Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete // ACI Materials Journal. 1999. Vol. 96, № 7. P. 448-454.
28. Дудынов С.В. Строительные материалы с добавками природных модификаторов // Строительные материалы. 2002. № 10. С. 18-19.
29. Соломатов В.И., Масеев Л.М., Клюкин В.И., Кочнева Л.Ф., Потапов Ю.Б. Армополимербетон в транспортном строительстве. М. : Транспорт, 1979. 232 с.
30. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Морды С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах : Совмест. изд. СССР, ЧССР, ФРГ. М. : Стройиздат, 1990. 320 с.
31. Ng W.L., Perez L., Cong J., Semmelhack M.F., Bassler B.L. Broad spectrum pro-quorum-sensing molecules

- as inhibitors of virulence in vibrios // PLoS Pathog. 2012. 8.
32. Mobley H.L. T., Hausinger R.P. Microbial Urease: Significance, Regulation and Molecular Characterization // Microbiological Reviews. 1989. Vol. 53. P. 85-108.
33. Гуляева Е.В., Калашников В.И., Валиев Д.М., Володин В.М. Пропариваемые песчаные бетоны нового поколения // Бетон и железобетон. 2011. № 5. С. 2-5.
34. Бутт Ю. М., Волконский Б.В., Егоров Г.Б. и др. Справочник по химии цемента; под ред. Б. В. Волконского и Л. Г. Судакаса. Л.: Стройиздат, 1980. 224 с.
35. Баженов Ю.М., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. и др. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий (структурообразование, технология, расчет и конструирование): Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2005. 200 с.
36. Федорцов А.П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения: монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 464 с.
37. Федорцов В.А., Ерофеев В.Т. Выбор активных добавок для повышения сопротивления цементных композитов воздействию агрессивных сред // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 113-115.
38. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Андронов А.Ф. Основы теории повышения сопротивления бетонов биологическим и химическим воздействиям посредством буферных систем // Вестник Отделения строительных наук РААСН. 2004. Вып. 8. С. 176-179.
39. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения // Известия вузов. Строительство. 2017. №6 (702). С. 5-14.
40. Федорцов А.П., Клечин Д.А., Русаков К.В., Ерофеев В.Т. Влияние добавки продукта коррозии на стойкость цементного камня в серной кислоте // Актуальные вопросы строительства: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. С. 382-384.
41. Ерофеев В.Т., Губанов Ден. А., Федорцов А.П. Стойкость модифицированных цементных композитов в средах, моделирующих воздействие продуктов метаболизма микроорганизмов // Актуальные вопросы строительства: материалы Международной научно-технической конференции. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. С. 404-407.
42. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Семичева А.С., Морозов Е.А. Биологическое сопротивление материалов. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.
43. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Сураева Е.Н., Родина М.А. Биоцидный портландцемент с улучшенными физико-механическими свойствами // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Т. 8. № 3. С. 81-92.

REFERENCES

1. Bazhenov YU. M., Amimov L. A., Voronin V. V., Magdeev U. H. Tekhnologiya betona, stroitel'nyh izdelij i konstrukcij [Technology of concrete, construction products and structures]. Moskva: Izd-vo ASV, 2004. 235 p. (rus)
2. SHtark J. SHCHelochnaya korrozija betona [Alkaline corrosion of concrete]. Kiev: Professiya, 2010. 144 p.
3. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseev S. N., Guzeev E. A. Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. M.: Strojizdat, 1980. 536 p. (rus)
4. Herdtl R., Ditermann M., SHmidt K. Dolgovechnost' betonov na osnove mnogokomponentnyh cementov [Durability of concrete based on multicomponent cements]. *Cement i ego primenenie*. 2011. No 1. Pp. 76-80. (rus)
5. Akchurin T. K., Pushkarskaya O. YU., Gruzdev A. A. Mikronapolnennyj cementnyj kompozit [The microfilled cement composite]. *Tekhnologii betonov*. 2010. No 11-12. Pp. 16-17. (rus)
6. Skripkyunas G., YAKovlev G. I., Karpova E. A., Mohamed E. A. E. M. Izmenenie reologicheskikh svojstv nanomodifitsirovannyh cementnyh sistem [Change in rheological properties of nanomodified cement systems]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No 2. Pp. 43-50. (rus)
7. Komohov P.G. Nanotekhnologii radiacionnogo betona [Nanotechnologies of radiation concrete]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2006. No 5. Pp. 22-23. (rus)
8. Korolev E.V., Grishina A.N., Satyukov A.B. Himicheskij sostav nanomodifitsirovannogo kompozitsionnogo vyazhushchego s primeneniem nano- i mikrorazmernyh gidrosilikatov bariya [Chemical composition of nanomodified composite binder using nano- and micro-sized barium hydrosilicates]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: internet-zhurnal*. 2014. No 4 (26). Pp. 90-103. (rus)
9. Lesovik V.S. O razvitii nauchnogo napravleniya «Nanosistemy v stroitel'nom materialovedenii» [On the Development of Scientific Direction "Nanosystems in Construction Materials Science"]. *Stroitel'nye materialy*. 2006. No 28. Pp. 18-20. (rus)
10. Loganina V.I., ZHegera K.V., ZHernovskij I.V. Strukturoobrazovanie cementnogo kamnya v prisutstvii dobavki na osnove amorfnyh alyumosilikatov [Structure formation of cement stone in the presence of additive based on amorphous aluminosilicates]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No 3 (56). Pp. 142-148. (rus)
11. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I. YU., Volodin V. M., Suzdal'cev O. V. Nanogidrosilikatnye tekhnologii v proizvodstve betonov [Nanohydrosilicate technologies in concrete production].

- Stroitel'nye materialy*. 2014. No 5. Pp. 88-91. (rus)
12. Okada K. Durability of concrete constructions. *Cement and Concrete*. 1986. No 470.
13. Pomeroy S. D. Concrete structures durability. *Sump. Concrete durability*. London, 1985.
14. Regourd M., Homan H., Morturcux B. Microstructure of concrete in aggressive environments ASTM. *ASTM Special Technical Publication*. Philadelphia. 1980. No 961. Pp. 253-268.
15. Richard P., Cheurezu. Composition of Reactive Powder Concrete. *Cem. Coner. Res*. 2001. Vol. 25. No 7. Pp. 1501-1511.
16. Kalashnikov V. I., Tarakanov O. V., Erofeeva I. V. Izuchenie reologicheskoy aktivnosti izvestnyakovoj muki dlya polucheniya effektivnykh betonov [Study of the rheological activity of limestone flour to produce effective concrete]. *Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye dostizheniya evropejskoj nauki» [Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Current Achievements of European Science".]* : v 23 t. Sofiya, 2015. T. 13. Pp. 88-90. (rus)
17. Kalashnikov V. I. CHerez racional'nuyu reologiyu v budushchee betonov [Through rational rheology into the future of concrete]. *Tekhnologiya betonov*. 2007. No 5. Pp. 8-10; 2007. No 6. Pp. 8-11; 2008. No 1. Pp. 22-26. (rus)
18. Belov V. V., Subbotin S. L., Kulyaev P. V. Prochnostnye i deformativnye svojstva betonov s karbonatnymi mikronapolnityami [Strength and deformation properties of concrete with carbonate microfills]. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No 3. Pp. 25-29. (rus)
19. Tushar L., Sasi Jyothsna T. S., Sasikala C., Ramana C. V. Draft Genome Sequence of Antimicrobial-Producing *Clostridium* sp. JC272, Isolated from Marine Sediment. *Genome Announc*. 2015. Vol. 3(3). pii: e00650-15.
20. CHerkasov V. D., Buzulukov V. I., Emel'yanov A. I. Penobetony na osnove penoobrazovatelya iz belkov mikrobnogo sinteza. Poluchenie i primeneniye v stroitel'stve [Foamed concrete based on foaming agent from microbial synthesis proteins. Production and use in construction]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2011. 100 p. (rus)
21. Achal V., Mukherjee A., Reddy M. S. Microbial concrete: Away to enhance the durability of concrete buildings. *Journal of Materials in Civil engineering*. 2011a. Vol. 23. No 6. Pp. 730-734.
22. Sahmaran M., Li V. C. Durability properties of microcracked ECC containing high volumes flyash. *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39, No 11. Pp. 1033-1043.
23. Wei S. M., Sanchez S. M., Trejo D., Gillis C. Microbial mediated deterioration of reinforced concrete structures. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2010. Vol. (8). Pp. 748-754.
24. Feldman R. F. The effect of sand cement ration and silica fume on the microstruture of mortars. *Cement and Concrete Research*. 1986. Vol. 16, No 3. Pp. 31-39.
25. De Muynck W., Debrouwer D., DeBelie N., Verstraete W. Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38, No 7. Pp. 1005-1014.
26. Silica fume in concrete. *ACI materials journal*. 1987. Pp. 158-166.
27. Edvardsen C. Water perme ability and autogenous healing of cracks in concrete. *ACI Materials Journal*. 1999. Vol. 96, No 7. Pp. 448-454.
28. Dudynov S. V. Stroitel'nye materialy s dobavkami prirodnykh modifikatorov [Construction materials with natural modifier additives]. *Stroitel'nye materialy*. 2002. No 10. Pp. 18-19. (rus)
29. Solomatov V. I., Maseev L. M., Klyukin V. I., Kochneva L. F., Potapov YU. B. Armopolimerbeton v transportnom stroitel'stve [Armopolymerbeton in transport construction]. Moskva : Transport, 1979. 232 p. (rus)
30. Alekseev S. N., Ivanov F. M., Mordy S., SHissel' P. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredah [Durability of reinforced concrete in aggressive environments] : Sovmest. izd. SSSR, CHSSSR, FRG. Moskva : Strojizdat, 1990. 320 p. (rus)
31. Ng W. L., Perez L., Cong J., Semmelhack M. F., Bassler B. L. Broad spectrum pro-quorum-sensing molecules as inhibitors of virulence in vibrios. *PLoS Pathog*. 2012. 8.
32. Mobley H. L. T., Hausinger R. P. Microbial Urease: Significance, Regulation and Molecular Characterization. *Microbiological Reviews*. 1989. Vol. 53. Pp. 85-108.
33. Gulyaeva E. V., Kalashnikov V. I., Valiev D.M., Volodin V.M. Proparivaemye peschanye betony novogo pokoleniya [Steamed sand concrete of new generation]. *Beton i zhelezobeton*. 2011. № 5. Pp. 2-5. (rus)
34. Butt YU. M., Volkonskij B. V., Egorov G. B. i dr. Spravochnik po himii cementa [Cement Chemistry Handbook] ; pod red. B. V. Volkonskogo i L. G. Sudakasa. L. : Strojizdat, 1980. 224 p. (rus)
35. Bazhenov YU. M., Erofeev V. T., Mitina E. A. i dr. Ograzhdayushchie konstrukcii na osnove karkasnogo keramzitobetona dlya proizvodstvennykh zdaniy (strukturnoobrazovanie, tekhnologiya, raschet i konstruirovaniye) [Frame ceramic concrete enclosures for industrial buildings (structure formation, technology, calculation and construction)]: Uchebnoye posobie. Moskva : Izd-vo ASV, 2005. 200 p. (rus)
36. Fedorcov A.P. Fiziko-himicheskoe soprotivleniye stroitel'nykh kompozitov i sposoby ego povysheniya [Physical and chemical resistance of building composites and ways of its enhancement] : monografiya. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2015. 464 p. (rus)
37. Fedorcov V.A., Erofeev V.T. Vybora aktivnykh dobavok dlya povysheniya soprotivleniya cementnykh kompozitov vozdeystviyu agressivnykh sred [Selection of active additives to increase the resistance of cement composites to aggressive media]. Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii [Current issues of architecture and construction: materials of the International Scientific and Technical

Conference]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2014. Pp. 113-115. (rus)

38. Erofeev V.T., Fedorcov A.P., Andronov A.F. Osnovy teorii povysheniya soprotivleniya betonov biologicheskim i himicheskim vozdeystviyam posredstvom bufernykh sistem [Foundations of the Theory of Increasing Concrete Resistance to Biological and Chemical Effects by Means of Buffer Systems]. *Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN*. 2004. Vyp. 8. Pp. 176-179. (rus)

39. Erofeev V.T., Fedorcov A.P., Bogatov A.D., Fedorcov V.A. Ocenka i prognozirovaniye fiziko-himicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i metody ego povysheniya [Assessment and prediction of physical and chemical resistance of glass-alkali composites and methods of its enhancement]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2017. No 6 (702). Pp. 5-14. (rus)

40. Fedorcov A.P., Klechin D.A., Rusakov K.V., Erofeev V.T. Vliyanie dobavki produkta korrozii na stojkost' cementnogo kamnya v sernoj kislyote [Impact of corrosion product addition on cement stone resistance in sulfuric acid] // Aktual'nye voprosy stroitel'stva : materialy Vserossiyskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Current construction issues: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2006. Pp. 382-384. (rus)

41. Erofeev V.T., Gubanov Den. A., Fedorcov A.P. Stojkost' modifitsirovannykh cementnykh kompozitov v sredah, modeliruyushchikh vozdeystvie produktov metabolizma mikroorganizmov [Stability of modified cement composites in media simulating the effect of products of the metabolism of microorganisms] // Aktual'nye voprosy stroitel'stva : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Topical issues of construction: materials of the International Scientific and Technical Conference]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2005. Pp. 404-407. (rus)

42. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F., Semicheva A.S., Morozov E.A. Biologicheskoe soprotivlenie materialov [Biological resistance of materials]. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. 196 p. (rus)

43. Erofeev V.T., Rodin A.I., Bogatov A.D., Kaznacheyev S.V., Smirnov V.F., Surayeva Ye.N., Rodina M.A. Biotsidnyy portlandtsement s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi svoystvami [Biocidal Portland cement with improved physical and mechanical properties]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2012. T. 8. No 3. Pp. 81-92

Информация об авторах

Ерофеев Владимир Трофимович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия, доктор технических наук, профессор, зав кафедрой строительных материалов и технологий, академик Российской академии архитектуры и строительных наук.

E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Федорцов Анатолий Петрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий.

E-mail: fedorcovap@mail.ru

Федорцов Владислав Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,

соискатель кафедры строительных материалов и технологий.

E-mail: fedorcovap@mail.ru

Information about authors

Erofeyev Vladimir T.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia, doctor in tech. sc., prof., Head of the dep. of Construction Materials and Technology, academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences.

E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Fedortsov Anatoly P.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia, candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of Construction materials and technology.

E-mail: fedorcovap@mail.ru

Fedortsov Vladislav A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia, applicant for the dep. of Construction materials and technology.

E-mail: fedorcovap@mail.ru