ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ И ПЕРЕМЕННЫХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ДЕМПФИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Ерофеева И.В., младший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),
Федорцов В.А., аспирант,
Афонин В.В., кандидат технических наук, доцент,
Емельянов Д.В., кандидат технических наук, доцент,
Национальный исследовательский университет
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Подживотов Н.Ю., кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП "ВИАМ"),
Моисеев В.В., аспирант,
Кремчеев А.Н., магистрант,
Национальный исследовательский университет
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

Аннотация: *в статье приводятся результаты исследования демпфирующих свойств цементных композитов с различным водоцементным отношением, с добавкой супер- и гиперпластификаторов, наполнителей – молотого кварца и микрокремнезема, кварцевых песков различной крупности при циклическом воздействии повышенной влажности и переменных повышенных температур. Демпфирующие свойства цементных композитов определяли резонансным методом. Выдерживание образцов в условиях повышенных температуры и влажности существенно воздействует на декремент колебаний практически всех составов. Установлено, что демпфирующие свойства цементных композитов определяются демпфирующими свойствами цементного камня; введение в состав цементного теста супер- и гиперпластификаторов приводит к снижению этого показателя; добавление в состав цементного теста порошков микрокварца и микрокремнезема обусловливает существенное увеличение демпфирующх свойств цементного камня с супер- и гиперпластификатором.*

Ключевые слова: *цементные композиты, наполнитель, бетоны нового поколения, термоциклические испытания, демпфирующие свойства, логарифмический декремент колебаний*

RESEARCHES OF INFLUENCE OF THE INCREASED HUMIDITY AND THE VARIABLE INCREASED TEMPERATURES ON THE DAMPING PROPERTIES OF CEMENT AGGREGATES

Erofeeva I.V., Research Assistant,
Research Institute of Building Physics
of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RIBPH RAACS),
Fedortsov V.A., Postgraduate,
Afonin V.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Emelyanov D.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Ogarev Mordovia State University,
Podzhivotov N.Yu., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Senior Research Officer,
All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (RSRIAM),
Moiseev V.V., Postgraduate,
Kremcheev A.N., Master Student,
Ogarev Mordovia State University

Abstract: *results of a research of the damping properties of cement aggregates with different water cement relation, with the component super – and hyper plasticisers, fillers – ground quartz and microsilicon dioxide, quartz sands of different fineness in case of cyclic influence of the increased humidity and the variable increased temperatures are given in the article. The damping properties of cement aggregates are determined by a resonant method. Keeping of samples in the conditions of raised temperatures and humidity significantly influences the decrement of oscillations practically of all compositions. It is set that the damping properties of cement aggregates are defined by the damping properties of a cement stone; introduction to composition of the cement test super - and hyper plasticisers leads to lowering of this index; adding in composition of the cement test of powders of microquartz and microsilicon dioxide causes essential increase the damping properties of a cement stone with super - and hyper plasticiser.*

Keywords: *the cement aggregates, filler, concrete of new generation, thermocyclic tests, damping properties, the logarithmic decrement of oscillations*

Развитие техники, связанное с увеличением скоростей и мощности машин и механизмов, приводит к значительному возрастанию шумов и вибраций, понижающих надежность работы механизмов, ухудшающих условия труда. Одним из основных способов эффективного их гашения является применение в конструкциях, подверженных воздействию динамических нагрузок, материалов с высокими вибропоглощающими свойствами. Важнейшим показателем, характеризующим возможность материалов сопротивляться нагрузкам, является демпфирующая способность [1].

Многие виды строительных материалов, такие как бетон, железобетон и дерево, являются высокодемпфирующими. Известно, что на демпфирующие свойства строительных материалов влияют различные факторы, в первую очередь их структура [2]. В большей степени эта зависимость проявляется у бетона, имеющего сложную внутреннюю структуру, которому присущи различные механизмы поглощения энергии: жидкостное трение, механический гистерезис, поглощение энергии вследствие релаксации напряжений и деформаций различных спектров, а также рассеяние энергии из-за трения по поверхностям микропор и микротрещин [1].

Из всех структурных параметров наибольшее влияние на демпфирующие свойства бетона оказывают водоцементное отношение и концентрация (количество) цементного камня [1]. Их улучшению способствует введение в бетон тонкомолотых добавок. Важную роль играет характер поровой структуры: с ростом пористости цементного камня демпфирующие свойства повышаются, а с уменьшением – снижаются. Частичное или полное заполнение пор водой или другими материалами меняет демпфирующие свойства бетона. Повышение его влажности приводит к улучшению данной характеристики. Бетоны с различными наполнителями – цементные композиты – находят в настоящее время широкое применение, рассматриваются различные показатели его свойств [3-6].

Настоящее исследование посвящено оценке изменения демпфирующих свойств цементных композитов с различным В/Ц (содержанием воды), с добавкой супер- и гиперпластификаторов, наполнителей – молотого кварца и микрокремнезема, кварцевых песков различной крупности при циклическом воздействии повышенной влажности и переменных повышенных температур. Были сформированы для испытаний различные композиты, в том числе многокомпонентные материалы нового поколения [7-15].

Термоциклические испытания образцов («тропики») в климатической камере ФГУП «ВИАМ» проведены в 2 этапа. На первом этапе партия образцов испытана пятнадцатью термоциклами, на следующем этапе вторая партия образцов испытана тридцатью термоциклами. Один термоцикл, представленный на рис. 1 (24 часа), включает четыре термосостояния:

1. Нагрев образцов от комнатной температуры (+23ºС) до +60ºС при влажности 98% – около 5 мин.

2. Выдержка образцов при температуре +60С и влажности 98% – 9 часов.

3. При выключенной камере естественное остывание образцов до комнатной температуры (+23ºС) при влажности 98% – не менее 5 часов.

4. Выдержка образцов при комнатной температуре (+23ºС) при влажности 98% – 9 часов.

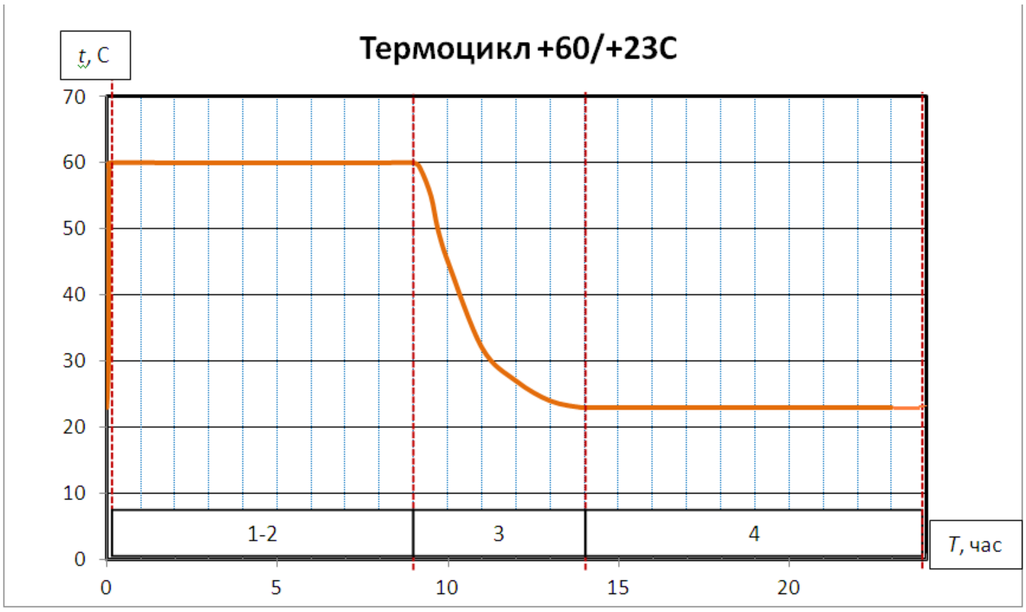

Рис. 1. Термоцикл при повышенной температуре и влажности (+60ºC / +23ºC, влажность 98%)

Демпфирующие свойства цементных композитов определяли резонансным методом [5]. Испытания проводили на консольно закрепленных образцах размером 20×20×70 мм. Вылет консоли составлял 50 мм. Колебания испытываемого образца возбуждались от электромагнитной катушки, для чего к боковой поверхности образца приклеивалась небольшая стальная пластинка. Для записи колебаний использовали пьезоэлектрический датчик ДН-3 с коэффициентом преобразования 10,1 мВ·с^2/м. Сигнал от вибропреобразователя подается на виброизмерительный прибор ПИ-19. Контур возбуждения состоит из генератора синусоидальных колебаний звуковой частоты ГЗ-117, усилителя и катушки. Показатели демпфирования (декремент колебаний) определяли при резонансных колебаниях исследуемого объекта при постоянной амплитуде вынуждающей силы. Сначала регистрировали резонансную частоту $f_р$ и амплитуду $A_р$ резонансных колебаний, затем расстраивали резонанс путем изменения частоты вынуждающей силы и регистрировали амплитуду A и соответствующую ей частоту $f_а$ колебаний. По параметрам резонансного пика рассчитывали логарифмический декремент δ колебаний (ЛДК) по формуле

$$\delta = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \left|1 - Z^2\right|}{\sqrt{\left|1 - Z^2 \lambda^2\right|}},$$

где λ – степень спада амплитуды колебаний, равная $A/A_р$;

Z – коэффициент расстройки резонанса, равный $f_а/f_р$.

Исследуемые составы и результаты исследования контрольных образцов и подверженных воздействию термоциклических испытаний приведены в табл. 1 и 2. Изменение логарифмического декремента колебаний образцов после испытаний определяли по отношению к измеряемому показателю образцов до испытаний, т.е. по отношению к контрольному образцу.

Таблица 1

Составы исследуемых композитов

№ п/п	Компоненты	Содержание компонентов в массовых частях состава									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Цемент ульяновский ПЦ500Д0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Вода	0,267	0,35	0,171	0,6	0,475	0,525	0,56	0,56	0,261	0,289
4	ГП «Melflux 1641 F»	–	–	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	–	–	–
5	СП «Фортрайс-Стронг»	–	–	–	–	–	–	–	–	0,015	–
6	ГП «Хидетал 9γ»	–	–	–	–	–	–	–	0,012	–	–
7	СП «Хидетал-П-5»	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,015
8	Микрокремнезем липецкий	–	–	–	–	0,1	–	–	–	–	–
9	Микрокварц	–	–	–	1,1	0,75	–	–	0,825	–	–
10	Кварцевый песок фракции 0–0,63 мм	–	–	–	2,753	1,775	2,065	2,51	2,065	–	–
11	Кварцевый песок фракции 0,63–2,5 мм	–	–	–	2,347	1,975	1,76	2,14	1,76	–	–

Таблица 2

Результаты испытаний

Свойства	Показатели свойств состава									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Логарифмический декремент колебаний δ образцов 40×40×160 мм	0,181	0,178	0,072	0,119	0,172	0,082	0,082	0,082	0,070	0,070
Изменение ЛДК образцов после 15 сут. испытаний δ, %	–15,8	–23,3	20,3	17,8	–34,7	153,1	91,4	84,1	–10,7	11,1
Изменение ЛДК образцов после 45 сут. испытаний δ, %	140,6	–23,3	270,0	261,6	–37,9	26,5	442,9	293,7	40,8	30,0

По результатам испытаний построены графики со сплайн интерполяцией данных, показывающие влияние на стойкость цементных композитов при экспозиции в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур водоцементного отношения, типа пластифицирующей добавки и наполнителей, степени наполнения (рис. 2–5).

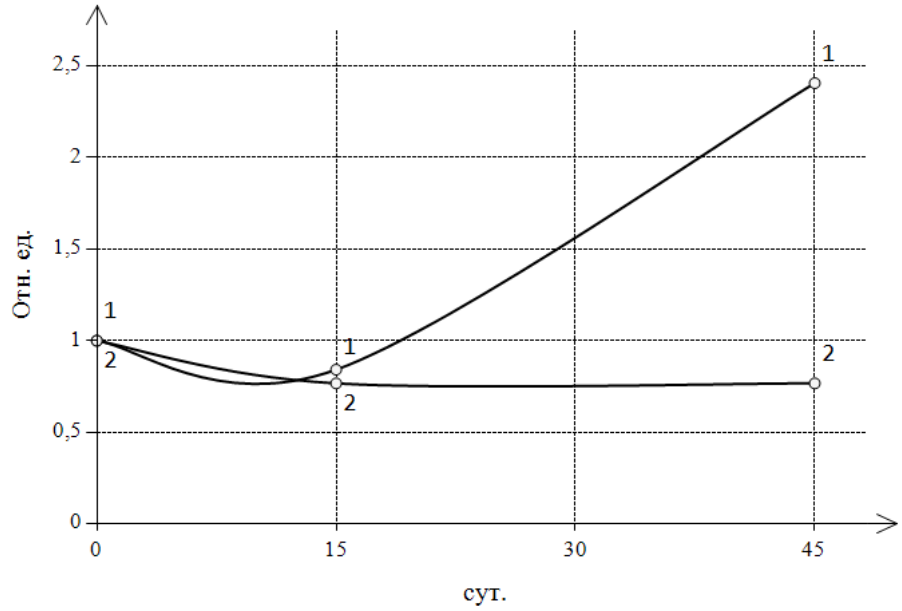

Рис. 2. Зависимость изменения логарифмического декремента колебаний цементного камня в зависимости от водосодержанияпри воздействии повышенной влажности и переменных температур: 1 – цементный камень на основе теста нормальной густоты (В/Ц = 0,267); 2 – то же с В/Ц= 0,35

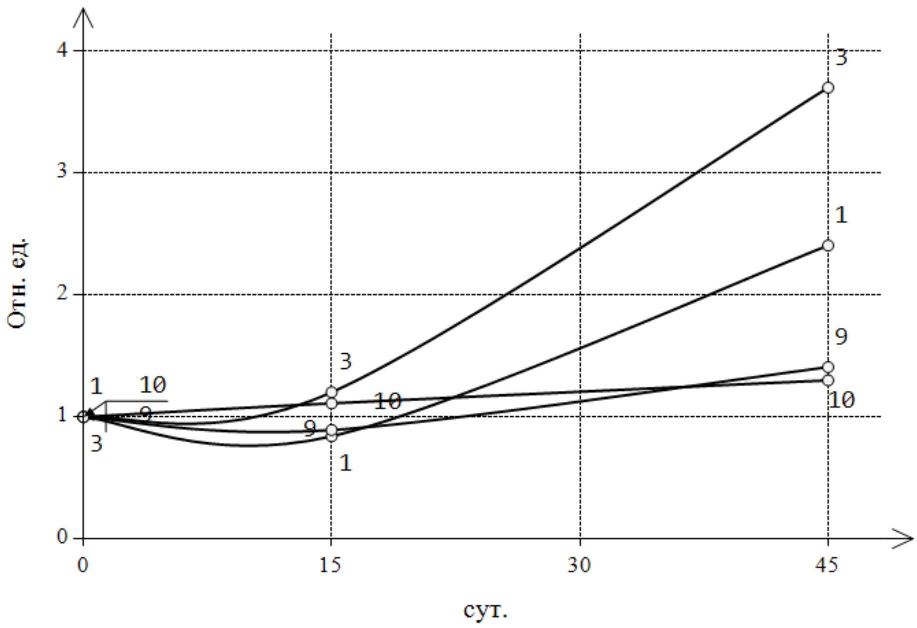

Рис. 3. Зависимость изменения логарифмического декремента колебаний цементного камня с пластифицирующими добавками и биоцидным препаратом при воздействии повышенной влажности и переменных температур: 1 – цементный камень без пластификатора (В/Ц=0,267); 3 – то же с ГП «Melflux 1641 F» (В/Ц= 0,171); 9 – то же с СП «Фортрайс-Стронг» (В/Ц=0,261); 10 – то же с СП «Хидетал-П-5» (В/Ц=0,289)

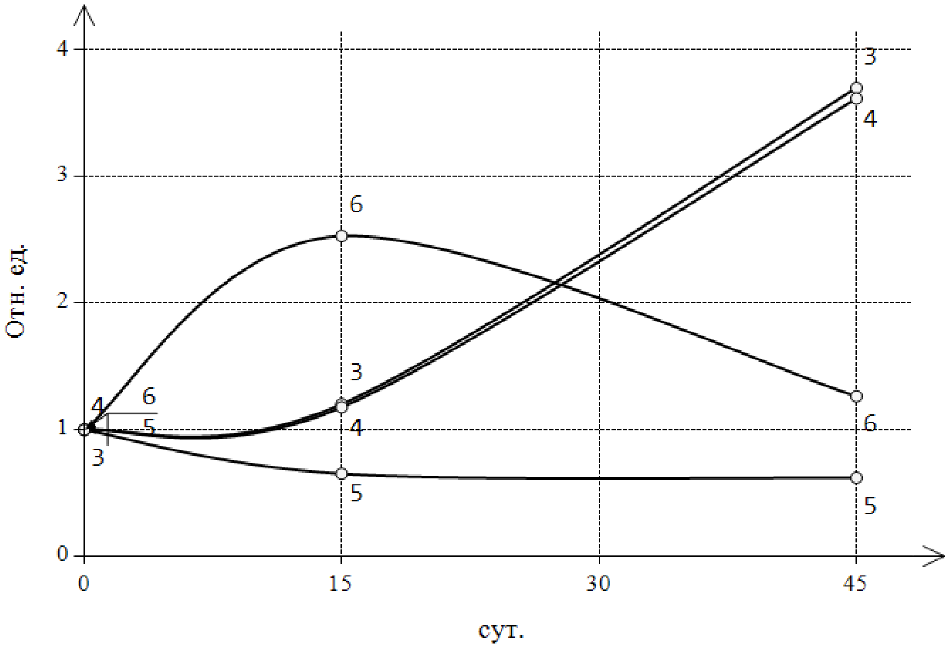

Рис. 4. Зависимость изменения логарифмического декремента колебаний цементного камня в зависимости от содержания наполнителя при воздействии повышенной влажности и переменных температур: 3 – пластифицированный цементный камень; 6 – то же наполненный 2-мя фракциями песка; 4 –то же наполненный 2-мя фракциями песка и микрокварцем; 5 – то же наполненный 2-мя фракциями песка, микрокварцем и микрокремнеземом

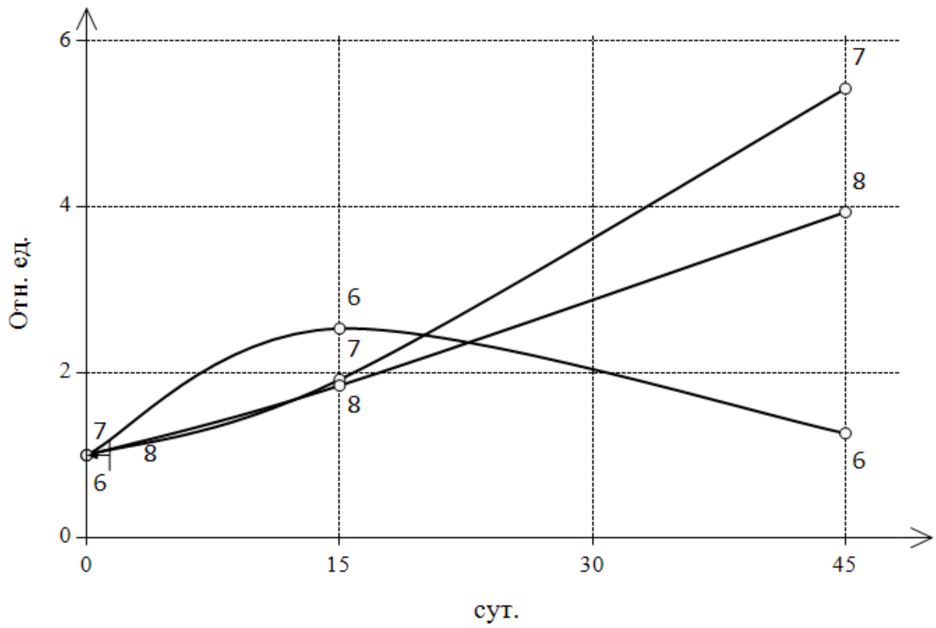

Рис. 5. Зависимость изменения логарифмического декремента колебаний цементного камня в зависимости от содержания пигментов, степени наполнения кварцевым наполнителем и вида пластификатора при воздействии повышенной влажности и переменных температур: 6 – средненаполненный композит с ГП «Melflux 1641 F»; 7 – высоконаполненный композит с ГП «Melflux 1641 F»; 8 – средненаполненный композит с ГП «Хидетал 9γ»

Выдерживание образцов в условиях повышенных температуры и влажности существенно воздействует на декремент колебаний практически всех составов. Это обусловлено тем, что образцы насыщаются влагой, а повышение влажности приводит к значительному повышению данного показателя.

Сравнение графических зависимостей по исследуемым показателям образцов на составах отличающихся водосодержанием свидетельствует об идентичном их изменении на начальном и различном характере на последующих этапах испытаний. При этом у образцов состава на основе теста нормальной густоты происходит рост показателя логарифмического декремента колебаний, а у состава с повышенным водосодержанием после начального снижения показателя наблюдается его стабилизация.

Сравнительные исследования образцов цементного камня составов 3, 8 и 9, отличающихся видом использованного гиперпластификатора показывает различные механизмы поведения при экспозиции в условиях повышенной влажности и переменных температур. Если у цементного камня на гиперпластификаторе «Melflux 1641 F» демпфирующие свойства возрастают в больших пределах, то у образцов с СП «Фортрайс-Стронг» и «Хидетал-П-5» они увеличиваются в меньшей степени после начального их уменьшения.

Наибольший рост декремента колебаний выявлен в случае применения гиперпластификатора «Melflux 1641 F» – в составах 3, 4, 7 он увеличился соответственно на 270, 262 и 443%. Меньшее влияние на этот показатель оказывает гиперпластификатор «Хидетал 9γ». У образцов состава 8 он увеличился на 294%. Из всех четырех пластификаторов при данном режиме испытаний наиболее слабое влияние на декремент колебаний оказывают суперпластификаторы «Фортрайс-Стронг» и «Хидетал-П-5» – составы 9 и 10. Декремент колебаний у этих составов увеличился соответственно на 41 и 30%.

Изменение свойств наполненных составов также протекает по-разному. У менее плотного состава, наполненного песчаным наполнителем 2-х фракций, демпфирующие свойства композитов в начальное время экспозиции повышаются, а затем снижаются. Добавление в смесь каменной муки и каменной муки с микрокремнеземом привело к снижению логарифмического декремента колебаний на начальном этапе экспозиции. Введение в состав микрокварца с микрокремнеземом (состав 5) привело к снижению декремента колебаний на 38 %. Это свидетельствует о том, что в условиях повышенных влажности и переменных температур использование микрокварца с микрокремнеземом способствует упрочнению структуры цементных композитов. При дальнейшем выдерживании у состава с добавлением каменной муки и микрокремнезема происходит стабилизация показателя, а у состава с добавкой каменной муки происходит увеличение показателя.

Подобно составу 4 ведут себя составы 7 и 8, которые изготовлены из высоконаполненных композиций с применением двух пластификаторов «Melflux 1641 F» и «Хидетал П-5». При этом большее увеличение демпфирующих свойств характерно для составов с гиперпластификатором «Melflux 1641 F».

Литература

1. Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Фомин Н.Е. Вибропоглощающие композиционные материалы. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 96 с.

2. Яковлев А.П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и систем. Киев: Наук. думка, 1985. 248 с.

3. Dr. D.V., Prasada Rao, N.Lakshmi Narayana. Properties of multi component composite cement concrete // International Journal of Engineering Research and General Science. 2017. V. 5. Issue 1. P. 54 – 61.

4. Vijaya Gowri T., Sravana P., Srinivasa Rao P. Studies on strength behavior of high volumes of slag concrete // IJRET. 2014. V. 03. I. 04. P. 1 – 12.

5. Amoo K., Adefisan O.O., A.O. Olorunnisola, Development and Evaluation of Cement-Bonded Composite Tiles Reinforced with Cissus Populnea Fibres // International Journal of Composite Materials. 2016. V. 6. N4. P. 133 – 139. doi: 10.5923/j.cmaterials.20160604.06.

6. Erofeeva I., Afonin V., Fedortsov V., Emelyanov D., Podzhivotov N. и Zotkina M. Исследование поведения цементных композитов в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 13, 4 (дек. 2017), 66-81. DOI:https://doi.org/10.22337/2587-9618-2017-13-4-66-81.

7. Влияние реакционно-активных добавок на прочностные свойства пластифицированного цементного камня / Е.В. Гуляева, И.В. Ерофеева, В.И. Калашников и др. // Молодой ученый. 2014. С. 194 – 197.

8. Калашников В.И., Ерофеева И.В. Высокопрочные бетоны нового поколения // Materials of the XII International scientific and practical conference, «Science without borders». 2016. С. 82 – 84.

9. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // Изв. высш. учеб. заведений «Строительство». 2016. №4. С. 38 – 37.

10. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, М.Н. Мороз и др. // Строит.материалы. 2014. №5. С. 89 – 91.

11. Чернышев В.М. Патент №2086943 РФ, МПК6 G01M 7/02, G01N 3/32. Способ определения логарифмического декремента колебаний. Опубл. 10.08.1997.

12. Erofeeva I., Kalashnikov V., Petukhov A. Explore the possibility of replacing for eign the hyperplasticizing additives combining them with cheaper domestic the hyperplasticizing additives // Building and architecture. 2014. P. 57 – 62.

13. Мороз М.Н., Калашников В.И., Ерофеева И.В. Эффективные бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности // Молодой ученый. 2015. №6. С. 189 – 191.

14. Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково-активированные песчаные бетоны и фибробетоны / В.И. Калашников, И.В. Ерофеева, В.М. Володин и др. // Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-2.

15. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения // Строительные материалы. 2011. №3. С. 103 – 106.

References

1. Solomatov V.I., CHerkasov V.D., Fomin N.E. Vibropogloshchayushchie kompozicionnye materialy. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2001. 96 s.

2. YAkovlev A.P. Dissipativnye svojstva neodnorodnyh materialov i sistem. Kiev: Nauk. dumka, 1985. 248 s.

3. Dr. D.V., Prasada Rao, N.Lakshmi Narayana. Properties of multi component composite cement concrete // International Journal of Engineering Research and General Science. 2017. V. 5. Issue 1. P. 54 – 61.

4. Vijaya Gowri T., Sravana P., Srinivasa Rao P. Studies on strength behavior of high volumes of slag concrete // IJRET. 2014. V. 03. I. 04. P. 1 – 12.

5. Amoo K., Adefisan O.O., A.O. Olorunnisola, Development and Evaluation of Cement-Bonded Composite Tiles Reinforced with Cissus Populnea Fibres // International Journal of Composite Materials. 2016. V. 6. N4. P. 133 – 139. doi: 10.5923/j.cmaterials.20160604.06.

6. Erofeeva I., Afonin V., Fedortsov V., Emelyanov D., Podzhivotov N. и Zotkina M. Исследование поведения цементных композитов в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 13, 4 (дек. 2017), 66-81. DOI:https://doi.org/10.22337/2587-9618-2017-13-4-66-81.

7. Vliyanie reakcionno-aktivnyh dobavok na prochnostnye svojstva plastificirovannogo cementnogo kamnya / E.V. Gulyaeva, I.V. Erofeeva, V.I. Kalashnikov i dr. // Molodoj uchenyj. 2014. S. 194 – 197.

8. Kalashnikov V.I., Erofeeva I.V. Vysokoprochnye betony novogo pokoleniya // Materials of the XII International scientific and practical conference, «Science without borders». 2016. S. 82 – 84.

9. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Suspenzionno-napolnennye betonnye smesi dlya poroshkovo-aktivirovannyh betonov novogo pokoleniya // Izv. vyssh. ucheb. zavedenij «Stroitel'stvo». 2016. №4. S. 38 – 37.

10. Nanogidrosilikatnye tekhnologii v proizvodstve betonov / V.I. Kalashnikov, V.T. Erofeev, M.N. Moroz i dr. // Stroit.materialy. 2014. №5. S. 89 – 91.

11. CHernyshev V.M. Patent №2086943 RF, MPK6 G01M 7/02, G01N 3/32. Sposob opredeleniya logarifmicheskogo dekrementa kolebanij. Opubl. 10.08.1997.

12. Erofeeva I., Kalashnikov V., Petukhov A. Explore the possibility of replacing for eign the hyperplasticizing additives combining them with cheaper domestic the hyperplasticizing additives // Building and architecture. 2014. P. 57 – 62.

13. Moroz M.N., Kalashnikov V.I., Erofeeva I.V. EHffektivnye betony novogo pokoleniya s nizkim udel'nym raskhodom cementa na edinicu prochnosti // Molodoj uchenyj. 2015. №6. S. 189 – 191.

14. Vysokoehffektivnye samouplotnyayushchiesya poroshkovo-aktivirovannye peschanye betony i fibrobetony / V.I. Kalashnikov, I.V. Erofeeva, V.M. Volodin i dr. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. №1-2.

15. Kalashnikov V.I. Terminologiya nauki o betone novogo pokoleniya // Stroitel'nye materialy. 2011. №3. S. 103 – 106.