СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 666.97:519.242

Э.М. Балатханова, В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов*, Е.А. Митина,
А.И. Родин, А.В. Еремин*, А.О. Адамцевич*

ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», *ФГБОУ ВПО «МГСУ»

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПОЛНИТЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Приведены результаты исследования процессов гидратации и физико-механических свойств цементных композитов с наполнителями месторождений Чеченской Республики. Представлены результаты исследований тепловыделения цементных систем, модифицированных мелкодисперсными наполнителями. Получены оптимальные составы цементных композитов, наполненных порошками кварца, песка, известняков речного и горного различного гранулометрического состава, отличающиеся повышенной прочностью.

Ключевые слова: цементный композит, прочность, тепловыделение, наполнитель, гранулометрический состав.

Наполнители вместе с вяжущими участвуют в формировании микроструктуры матричной основы и контактных зон композита [1—5]. Преимущество структуры цементной матрицы с наполнителем состоит в том, что в ней локализуются внутренние дефекты — микротрещины, макропоры и капиллярные поры, а также в том, что уменьшаются их количество и размеры, снижается концентрация напряжений. Структурообразование наполненных цементных композитов основывается на процессах, происходящих при контакте жидкой и твердой фаз, т.е. зависит от количественного соотношения цемента, наполнителей и воды, а также дисперсности и физико-химической активности наполнителей [6—11].

Для наполненных цементных композитов характерны два случая влияния добавок на общую организацию структуры дисперсной системы [12]: поверхностная активность частиц наполнителя равна или выше поверхностной активности вяжущего ($F_n \geq F_b$) и поверхностная активность наполнителей ниже поверхностной активности вяжущего ($F_n < F_b$). При $F_n \geq F_b$ частицы наполнителя рассматриваются как структурообразующие центры. Применение таких наполнителей приводит к повышению степени гидратации и к упрочнению межчастичных контактов. В случае, когда $F_n < F_b$, частицы наполнителя способствуют упорядочению структуры и повышению механических характеристик за счет снижения межчастичных деформаций на поверхности раздела фаз.

Из практики известно, что изменение химического состава твердеющей системы приводит к изменению механизма и скорости химических реакций гидратации цемента, состава кристаллогидратов, а также кинетики формирования физической структуры твердеющей цементной системы. В связи с этим, важным являются исследования по установлению тепловыделения цементных систем, модифицированных мелкодисперсными наполнителями.

Наполнителями служили молотые порошки песчаника (месторождение в Надтеречном р-не, в 30...35 км от г. Грозного в ю.-з. направлении); кварцевого песка (месторождение на р. Терек в 20 км к с. от г. Грозного); известняка речного (месторождение на р. Хул-Хулау в н.п. Цаци-Юрт в 25 км к в. от г. Грозного) и горного (месторождение в н.п. Дуба-Юрт в 30 км к ю. от г. Грозного).

Для определения влияния использованных в работе наполнителей на ход гидратации цементных систем исследования проводились на портландцементе одинакового химико-минералогического состава, а также жестко контролировалась удельная поверхность наполнителей (9500...10500 см²/г). Регистрация параметров тепловыделения производилась с учетом ГОСТ 310.5—88 «Цементы. Метод определения тепловыделения» в 8-канальном изотермическом калориметре ТАМАIR на образцах цементной пасты (цемент — 70 %, наполнитель — 30 %, В/Ц = 0,5) при 20 °С [13—20].

Зарегистрированные параметры тепловыделения исследуемых образцов приведены на рис. 1.

Рис. 1. Скорость тепловыделения (а) и суммарное количество выделившейся теплоты (б) цементных систем, модифицированных наполнителями месторождений Чеченской Республики: 1 — контрольный состав; 2 — песчаником; 3 — известняком речным; 4 — известняком горным; 5 — песком речным

Как показывают данные рис. 1, тепловыделение цементных систем с разными мелкодисперсными наполнителями месторождений Чеченской Республики неодинаково. Первый пик (период начального взаимодействия) в ранние часы гидратации характерен наложением экзотермических эффектов происходящих при смачивании зерен цемента, реакцией образования этtringита и иных Aft-фаз, а в отдельных случаях и образованием гипса из полугидрата, появившегося в результате помола цемента. На рис. 1, б данный эффект не учитывается с целью выявления последующей гидратации основных фаз клинкера.

Индукционный период гидратации, характеризующийся тиксотропичностью, практически идентичен для всех составов, что не удивительно, так как теоретически ни один из примененных в работе наполнителей не является замедлителем схватывания цемента.

Второй пик (период ускорения реакций) соответствует реакциям образования C-S-H-геля и СН, т.е. начинается схватывание цементной системы. Необходимо отметить, что данный период также практически идентичен для всех составов с пиком около 13...14 ч после смешивания всех компонентов. Немного интенсивнее протекает образование C-S-H-геля и СН состава, модифицированных известняком речным, что объясняется природой образования данного наполнителя.

Третий пик, характеризующий образование этtringита, для модифицированных составов зафиксирован в интервале 20...24 ч гидратации в отличие от рядового цемента, у которого этот пик был отмечен после 28 ч, что также говорит об ускорении гидратации цементных систем, модифицированных мелкодисперсными наполнителями месторождений Чеченской Республики.

Четвертый пик, характеризующий гидратацию алюмоферритных составляющих цемента, для модифицированных составов практически слился с третьим пиком (образование этtringита). Для контрольного состава алюмоферриты кальция начинают гидратировать только после 40 ч.

Данные суммарной тепловой энергии (см. рис. 1, б) после 3 сут твердения цементных систем показали большую степень гидратации к этому периоду контрольного состава. Однако необходимо отметить, что составы с наполнителями только на 70 % состоят из портландцемента, а суммарное количество выделившейся энергии (степень гидратации) всего на 12...15 % меньше контрольного, что говорит об увеличении активности цементов, модифицированных мелкодисперсными наполнителями месторождений Чеченской Республики.

Наполнитель по эффективности структурообразования разделяют на три степени дисперсности [12]: высокодисперсный наполнитель, удельная поверхность которого значительно выше тонкости помола вяжущего, увеличивающего прочность за счет повышения однородности пор по размеру; наполнитель, удельная поверхность которого близка к дисперсности вяжущего, играющего роль подложки в процессе формирования структуры; наполнитель с грубодисперсной структурой, который играет роль компенсаторов деформации внутри структуры бетонов. Исходя из вышесказанного, можно предположить, что совмещением наполнителей различной дисперсности, можно получать композиты с улучшенными свойствами по сравнению с материалами на однофракционных наполнителях.

Данное предположение было положено нами в основу исследований композитов, наполненных порошками, состоящими из смеси частиц различного гранулометрического состава. Нами были проведены исследования физико-механических свойств наполненных цементных композитов.

Оптимизационные исследования проводились с помощью математических методов планирования эксперимента (симплекс-решетчатого плана Шеффе). Гранулометрический состав наполнителей варьировался на трех уровнях: фракция 0,63...0,315 мм — X_1 , фракция 0,315...0,16 мм — X_2 , фракция менее 0,16 мм — X_3 . Количество каждой фракции было принято за контролируемую переменную, количество остальных компонентов было зафиксировано и на протяжении всего опыта оставалось постоянным. Исследованию подвергалась диаграмма состав — свойство с вершинами: Z_1 ($X_1 = 100\%$, $X_2 = 0\%$); Z_2 ($X_2 = 100\%$, $X_3 = 0\%$); Z_3 ($X_3 = 100\%$, $X_1 = 0\%$). Контролируемыми параметрами являлась прочность при сжатии и модуль упругости.

Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в таблице.

Матрица планирования

Номер опыта	Матрица планирования в кодированных значениях			Матрица планирования в натуральных значениях, %			Предел прочности при сжатии / модуль упругости композитов, МПа/×10 ³ МПа, с различными наполнителями			
	X_1	X_2	X_3	Z_1	Z_2	Z_3	песчаником	кварцевым песком	известняком речным	известняком горным
1	1	0	0	100	0	0	56/5,19	60/6,75	68/6,00	52/5,41
2	0	1	0	0	100	0	65/4,54	66/6,36	63/3,71	57/14,00
3	0	0	1	0	0	100	56/4,34	68/7,43	57/5,44	69/6,44
4	1/3	2/3	0	33	67	0	61/7,71	59/6,00	57/4,00	60/5,56
5	1/3	0	2/3	33	0	67	51/6,21	63/7,00	55/5,89	47/6,19
6	0	1/3	2/3	0	33	67	54/4,23	53/3,13	60/5,43	50/5,63
7	2/3	1/3	0	67	33	0	63/5,76	67/5,76	58/3,99	46/7,50
8	2/3	0	1/3	67	0	33	46/4,69	59/4,57	45/3,37	51/3,19
9	0	2/3	1/3	0	67	33	44/5,00	62/4,57	43/3,61	50/3,35
10	1/3	1/3	1/3	33	33	33	61/4,85	69/3,84	59/1,73	48/6,40

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить зависимости, характеризующие изменение предела прочности при сжатии и модуля упругости наполненных цементных композитов от гранулометрического состава вводимых наполнителей.

Для композиционных материалов, наполненных песчаником:

$$R_{сж} = 56X_1 + 65X_2 + 56X_3 + 6,75X_1X_2 - 33,75X_1X_3 - 51,75X_2X_3 + 33,75X_1X_2(X_1 - X_2) - 33,75X_1X_3(X_1 - X_3) - 87,75X_2X_3(X_2 - X_3) + 290,26X_1X_2X_3;$$

$$E = 5,19X_1 + 4,58X_2 + 4,33X_3 + 8,325X_1X_2 + 3,0825X_1X_3 + 0,72X_2X_3 - 14,535X_1X_2(X_1 - X_2) - 12,2625X_1X_3(X_1 - X_3) + 4,635X_2X_3(X_2 - X_3) - 32,33X_1X_2X_3.$$

Для композиционных материалов, наполненных кварцевым песком:

$$R_{сж} = 60X_1 + 66X_2 + 68X_3 - 13,5X_1X_2 - 42,75X_2X_3 + 67,5X_1X_2(X_1 - X_2) - 9,0X_1X_3(X_1 - X_3) + 65,25X_2X_3(X_2 - X_3) + 285,76X_1X_2X_3;$$

$$E = 6,75X_1 + 6,36X_2 + 7,43X_3 - 3,04X_1X_2 - 5,87X_1X_3 - 13,73X_2X_3 - 2,5X_1X_2(X_1 - X_2) - 14,87X_1X_3(X_1 - X_3) + 12,20X_2X_3(X_2 - X_3) - 13,25X_1X_2X_3.$$

Для композиционных материалов, наполненных известняком речным:

$$R_{сж} = 68X_1 + 63X_2 + 57X_3 - 36,0X_1X_2 - 56,25X_1X_3 - 38,25X_2X_3 - 4,5X_1X_2(X_1 - X_2) - 92,25X_1X_3(X_1 - X_3) - 128,25X_2X_3(X_2 - X_3) + 292,51X_1X_2X_3;$$

$$E = 6,00X_1 + 3,71X_2 + 5,44X_3 - 3,87X_1X_2 - 4,91X_1X_3 - 0,25X_2X_3 - 5,22X_1X_2(X_1 - X_2) - 18,27X_1X_3(X_1 - X_3) - 8,39X_2X_3(X_2 - X_3) - 62,57X_1X_2X_3.$$

Для композиционных материалов, наполненных известняком горным:

$$R_{сж} = 52X_1 + 57X_2 + 69X_3 - 6,75X_1X_2 - 51,75X_1X_3 - 58,5X_2X_3 - 83,25X_1X_2(X_1 - X_2) + 65,25X_1X_3(X_1 - X_3) + 27,0X_2X_3(X_2 - X_3) + 45,0X_1X_2X_3.$$

$$E = 5,41X_1 + 14,0X_2 + 6,44X_3 - 14,29X_1X_2 - 5,55X_1X_3 - 25,81X_2X_3 + 32,42X_1X_2(X_1 - X_2) - 17,93X_1X_3(X_1 - X_3) - 32,33X_2X_3(X_2 - X_3) + 77,11X_2X_3.$$

По уравнениям регрессии были построены графики в виде линий равных значений изменения предела прочности при сжатии и модуля упругости, которые приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

Рис. 2. Изолинии изменения предела прочности на сжатие цементных композитов с добавкой песчаника (а), кварцевого песка (б), известняка речного (в), известняка горного (г)

Рис. 3. Изолинии изменения модуля упругости, $\times 10^3$ МПа, цементных композитов с добавкой песчаника (а), кварцевого песка (б), известняка речного (в), известняка горного (г)

Из графиков следует, что для улучшения прочностных свойств цементных композитов наиболее предпочтительным является применение наполнителя в виде частиц различного гранулометрического состава. Применение данных наполнителей позволяет повысить прочность цементных композитов на 10...15 % по сравнению с однофракционным.

Выводы. 1. Исследованы процессы гидратации и свойства цементных композитов, наполненных порошками кварца, песчаника, известняка горного и известняка речного, полученных из пород месторождений Чеченской Республики.

2. Исследования тепловыделения цементных систем, модифицированных мелкодисперсными наполнителями месторождений Чеченской Республики (удельная поверхность 9500...10500 $\text{см}^2/\text{г}$), показали увеличение на 15...17 % степени гидратации цементных систем к 3 сут твердения.

3. Методом математического планирования эксперимента установлено увеличение прочности цементных композитов с применением наполнителей различного гранулометрического состава на 10...15 % по сравнению с применением однофракционного наполнителя.

Библиографический список

1. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. Киев : Будивэльныйк, 1989. 128 с.
2. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / под ред. Л.И. Дворкина. Киев : Будивэльныйк, 1991. 136 с.
3. Лазарев А.В., Казначеев С.В., Ерофеева И.В., Родина Н.Г. Влияние вида наполнителя на деформативность эпоксидных композитов в условиях воздействия модельной бактериальной среды // Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздей-

ствия различных эксплуатационных факторов : мат. Междунар. науч.-техн. конф. 19—20 декабря 2013 г. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2013. С. 188—194.

4. *Пантелеев А.С., Колбасов В.Н., Савин Е.С.* Карбонатные породы — микронаполнители для цемента // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1964. Вып. 45. С. 19—24.

5. *Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд.* Интенсивная технология бетона. М. : Стройиздат, 1989. 284 с.

6. *Баженов Ю.М.* Новому веку — новые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. № 2 (11). С. 10.

7. *Дегтярева М.М.* Технология и свойства бетона с бинарным наполнителем «кварц — известняк» : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1995. 19 с.

8. *Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Завалишин Е.В., Богатов А.Д., Астахов А.М., Коротаев С.А., Никитин Л.В.* Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формирования. М. : Изд-во АСВ, 2009. 160 с.

9. *Красный И.М.* О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // Бетон и железобетон. 1987. № 5. С. 10—11.

10. *Овчаренко Ф.Д., Соломатов В.И., Казанский В.М.* О механизме влияния тонкомолотых добавок на свойства цементного камня // Доклады АН СССР. 1985. Т. 284, № 2. С. 289—403.

11. *Соломатов В.И.* Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1985. № 8. С. 58—64.

12. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Т. 1. Стройиндустрия, строительные материалы, технология и организация производства работ. Строительные машины и оборудование / под ред. Е.В. Басина. М. : ВНИИТПИ, 1995. Т. 1. 495 с.

13. *Адамцевич А.О., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А.* Влияние формата кальция на гидратацию цемента с учетом фазового состава и температурного режима твердения // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 59—61.

14. *Макридин Н.И., Тараканов О.В., Максимова И.Н., Суров И.А.* Фактор времени в формировании фазового состава структуры цементного камня // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 2. С. 26—31.

15. *Barbara Lothenbach, Gwenn Le Saout, Mohsen Ben Haha, Renato Figi, Erich Wieland.* Hydration of a low-alkali CEM III/B-SiO₂ cement (LAC) // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. No. 2. Pp. 410—423.

16. *Jansen D., Goetz-Neunhoffer F., Lothenbach B., Neubauer J.* The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. No. 1. Pp. 134—138.

17. *Jeffrey W. Bullard, Hamlin M. Jennings, Richard A. Livingston, Andre Nonat, George W. Scherer, Jeffrey S. Schweitzer, Karen L. Scrivener, Jeffrey J. Thomas.* Mechanisms of cement hydration // Cement and Concrete Research. December. 2011. Vol. 41. No. 12. Pp. 1208—1223.

18. *Nguyen Van Tuan, Guang Ye, Klaas van Breugel, Oguzhan Copuroglu.* Hydration and microstructure of ultra high performance concrete incorporating rice husk ash // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. No. 11. Pp. 1104—1111.

19. *Pashkevich S., Pustovgar A., Adamtsevich A., Eremin A.* Pore Structure Formation of Modified Cement Systems, Hardening over the Temperature Range from +22 °C to -10 °C // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vols. 584—585. Pp. 1659—1664.

20. *Sabine M. Leisinger, Barbara Lothenbach, Gwenn Le Saout, C. Annette Johnson.* Thermodynamic modeling of solid solutions between monosulfate and monochromate 3CaO Al₂O₃ Ca[(CrO₄)_x(SO₄)_{1-x}]·nH₂O // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. No. 1. Pp. 158—165.

Поступила в редакцию в октябре 2014 г.

Об авторах: **Балатханова Элита Махмудовна** — соискатель кафедры строительных материалов и технологий, **Мордовский государственный университет**

им. Н.П. Огарёва (ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»), 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68, 8 (8342) 47-40-19, AL_Rodin@mail.ru;

Ерофеев Владимир Трофимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, декан архитектурно-строительного факультета, **Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68, 8 (8342) 47-40-19, AL_Rodin@mail.ru;

Баженов Юрий Михайлович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 287-49-14 вн. 31-02, 31-03, 31-01, tvvib@mgsu.ru;

Митина Елена Александровна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений, **Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68, 8 (8342) 47-40-19, mitinaea@list.ru;

Родин Александр Иванович — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры экономики и управления в строительстве, **Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»)**, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68, 8 (8342) 47-40-19, AL_Rodin@mail.ru;

Еремин Алексей Владимирович — заведующий лабораторией физико-химического анализа научно-исследовательского института строительных материалов и технологий, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, alexs.eremin@gmail.com;

Адамцевич Алексей Олегович — кандидат технических наук, руководитель головного регионального центра коллективного пользования научно-исследовательского института строительных материалов и технологий, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (495) 656-14-66, mnspecter@gmail.com.

Для цитирования: *Балатханова Э.М., Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Митина Е.А., Родин А.И., Еремин А.В., Адамцевич А.О.* Оптимизация состава цементных композитов с применением наполнителей месторождений Чеченской Республики // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 121—130.

**E.M. Balatkhanova, V.T. Erofeev, Yu.M. Bazhenov, E.A. Mitina,
A.I. Rodin, A.V. Eremin, A.O. Adamtsevich**

OPTIMIZATION OF CEMENT COMPOSITES WITH THE USE OF FILLERS FROM THE CECHEEN REPUBLIC FIELDS

The fillers together with binders take part in microstructure formation of matrix basis and contact zones of a composite. The advantage of cement matrix structure with a filler is that inner defects are localized in it — microcracks, macropores and capillary pores, as well as that their quantity, their sizes and stress concentration decrease. Structure formation of filled cement composites is based on the processes taking place in the contact of liquid and stiff phases, which means, it depends on the quantitative relation of the cement, fillers and water, and also dispersivity and physical and chemical activity of the fillers.

In the article the authors offer research results of the processes of hydration and physical-mechanical properties of cement composites with fillers from the fields of the Chechen Republic. Research results of heat cement systems are presented, modified by fine fillers. Optimal composition of cement composites filled with powders of quartz, sandstone, river and a mountain limestone of different particle size composition, characterized by a high strength, are obtained.

Key words: cement composite, strength, heat evolution, filler, particle size composition.

References

1. Afanas'ev N.F., Tseluyko M.K. *Dobavki v betony i rastvory* [Additives in Concrete and Solutions]. Kiev, Budivel'nyk Publ., 1989, 128 p. (In Russian)
2. Dvorkin L.I., Solomatov V.I., Vyrovoy V.N., Chudnovskiy S.M. *Tsementnye betony s mineral'nymi napolnitelyami* [Cement Concretes with Mineral Fillers]. Kiev, Budivel'nyk Publ., 1991, 136 p. (In Russian)
3. Lazarev A.V., Kaznacheev S.V., Erofeeva I.V., Rodina N.G. Vliyanie vida napolnitelya na deformativnost' epoksidnykh kompozitov v usloviyakh vozdeystviya model'noy bakterial'noy sredy [Influence of a Type of a Filler on Deformability of Epoxy Composites in the Conditions of Influence of Model Bacterial Environment]. *Razrabotka effektivnykh aviatsionnykh, promyshlennykh, elektrotekhnicheskikh i stroitel'nykh materialov i issledovanie ikh dolgovечnosti v usloviyakh vozdeystviya razlichnykh ekspluatatsionnykh faktorov : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 19—20 dekabrya 2013 g.* [Materials of the International Scientific and Technical Conference: Development of Effective Aviation, Industrial, Electrotechnical and Construction Materials and Research of their Durability in the Conditions of the Influence of Various Operational Factors]. Saransk, Mordovia State University Publ., 2013, pp. 188—194. (In Russian)
4. Panteleev A.S., Kolbasov V.N., Savin E.S. Karbonatnye porody — mikronapolniteli dlya tsementa [Carbonate Breeds—Microfillers for Cement]. *Trudy MKhTlim. D.I. Mendeleeva* [Works of D. Mendeleev Institute of Chemical Technology of Moscow]. 1964, no. 45, pp. 19—24. (In Russian)
5. Solomatov V.I., Takhirov M.K., Takher Shakh Md. *Intensivnaya tekhnologiya betona* [Intensive Technology of Concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989, 284 p. (In Russian)
6. Bazhenov Yu.M. Novomu veku — novye betony [New Concretes to the New Age]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2000, no. 2 (11), no. 10. (In Russian)
7. Degtyareva M.M. *Tekhnologiya i svoystva betona s binarnym napolnitelem «kvarts — izvestnyak»* [Technology and Properties of concrete with Binary Fillers "Quartz-Limestone"]. Theses for the Dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Moscow, 1995, 19 p. (In Russian)
8. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Zavalishin E.V., Bogatov A.D., Astashov A.M., Korotaev S.A., Nikitin L.V. *Silikatnye i polimersilikatnye kompozity karkasnoy struktury rolkovogo formirovaniya* [Silicate and Polymer-Silicate Composites of the Truss Structure of Roller Formation]. Moscow, ASV Publ., 2009, 160 p. (In Russian)
9. Krasnyy I.M. O mekhanizme povysheniya prochnosti betona pri vvedenii mikronapolnitelya On the Method of Concrete Strength Increase in Case of Microfiller Introduction]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1987, no. 5, pp. 10—11. (In Russian)
10. Ovcharenko F.D., Solomatov V.I., Kazanskiy V.M. O mekhanizme vliyaniya tonkomo-lotnykh dobavok na svoystva tsementnogo kamnya [On the Influence Mechanism of Floured Additives on Cement Stone Properties]. *Doklady AN SSSR* [Reports of Academy of Sciences of the USSR]. 1985, vol. 284, no. 2, pp. 289—403. (In Russian)
11. Solomatov V.I. Razvitiye polistrukturnoy teorii kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov [Development of the Polystructural Theory of Composite Construction Materials]. *Izvetiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Proceedings of Institutions of Higher Education. Construction and Architecture]. 1985, no. 8, pp. 58—64. (In Russian)
12. Basin E.V., editor. *Rossiyskaya arkhitekturno-stroitel'naya entsiklopediya. T. 1. Stroy-industriya, stroitel'nye materialy, tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva rabot. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie* [Russian architectural and construction encyclopedia. Vol. 1. Construction Industry, Construction Materials, Technology and Works Management]. Moscow, VNIINTPI Publ., 1995, vol. 1, 495 p. (In Russian)
13. Adamtsevich A.O., Pustovgar A.P., Eremin A.V., Pashkevich S.A. Vliyanie formiata kal'tsiya na gidratatsiyu tsementa s uchetom fazovogo sostava i temperaturnogo rezhima tverdeniya [Investigation of the Effect of Calcium Formate on Hydration Process of Cement with Account for the Phase Composition and Temperature Mode of Hardening]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013, no. 7, pp. 59—61. (In Russian)
14. Makridin N.I., Tarakanov O.V., Maksimova I.N., Surov I.A. Faktor vremeni v formirovani-i fazovogo sostava struktury tsementnogo kamnya [Time Factor in Formation of Phase

Structure of a Cement Stone]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction]. 2013, no. 2, pp. 26—31. (In Russian)

15. Barbara Lothenbach, Gwenn Le Saout, Mohsen Ben Haha, Renato Figi, Erich Wieland Hydration of a low-alkali CEM III/B–SiO₂ cement (LAC). *Cement and Concrete Research*. 2012, vol. 42, no. 2, pp. 410—423. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.11.008>.

16. Jansen D., Goetz-Neunhoeffler F., Lothenbach B., Neubauer J. The Early Hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An Approach Comparing Measured Heat Flow with Calculated Heat Flow from QXRD. *Cement and Concrete Research*, 2012, vol. 42, no. 1, pp. 134—138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.001>.

17. Jeffrey W. Bullard, Hamlin M. Jennings, Richard A. Livingston, Andre Nonat, George W. Scherer, Jeffrey S. Schweitzer, Karen L. Scrivener, Jeffrey J. Thomas Mechanisms of Cement hydration. *Cement and Concrete Research*. December 2011, vol. 41, no. 12, pp. 1208—1223. DOI: [10.1016/j.cemconres.2010.09.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011).

18. Nguyen Van Tuan, Guang Ye, Klaas van Breugel, Oguzhan Copuroglu. Hydration and Microstructure of Ultra High Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash. *Cement and Concrete Research*. 2011, vol. 41, no. 11, pp. 1104—1111.

19. Pashkevich S., Pustovgar A., Adamtsevich A., Eremin A. Pore Structure Formation of Modified Cement Systems, Hardening over the Temperature Range from +22°C to –10°C. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vols. 584—585, pp. 1659—1664.

20. Sabine M. Leisinger, Barbara Lothenbach, Gwenn Le Saout, C. Annette Johnson. Thermodynamic Modeling of Solid Solutions Between Monosulfate and Monochromate 3CaO Al₂O₃ Ca[(CrO₄)x(SO₄)1-x] nH₂O. *Cement and Concrete Research*. 2012, vol. 42, No. 1, pp. 158—165. DOI: [10.1016/j.cemconres.2011.09.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.09.005).

About the authors: **Balatkhanova Elita Mahmudovna** — doctoral candidate, Department of Construction Materials and Technologies, **Ogarev Mordovia State University (MGU im. Ogareva)**, 68 Bol'shevistskaya str., Saransk, 430005, Russian Federation; +7 (8342) 47-40-19; AL_Rodin@mail.ru;

Erofeev Vladimir Trofimovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Construction Materials and Technologies, dean, Department of Architecture and Construction, **Ogarev Mordovia State University (MGU im. Ogareva)**, 68 Bol'shevistskaya str., Saransk, 430005, Russian Federation; +7 (8342) 47-40-19; AL_Rodin@mail.ru;

Bazhenov Yuriy Mikhailovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Binders and Concrete Technology, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (495) 287-49-14, ext. 31-02, 31-03, 31-01; tvvib@mgsu.ru;

Mitina Elena Aleksandrovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Highways and Special Engineering Structures, **Ogarev Mordovia State University (MGU im. Ogareva)**, 68 Bol'shevistskaya str., Saransk, 430005, Russian Federation; +7 (8342) 47-40-19; mitinaea@list.ru;

Rodin Alexander Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Economy and Management in Construction, **Ogarev Mordovia State University (MGU im. Ogareva)**, 68 Bol'shevistskaya str., Saransk, 430005, Russian Federation; +7 (8342) 47-40-19; AL_Rodin@mail.ru;

Eremin Aleksey Vladimirovich — head, laboratory of Physical and Chemical Analysis, Scientific and Research Institute of Construction Materials and Technologies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; alexs.eremin@gmail.com;

Adamtsevich Aleksey Olegovich — Candidate of Technical Sciences, head, Principal Regional Center of Collective Use of Scientific Institute of Construction Materials and Technologies, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (495) 656-14-66; mnspecter@gmail.com.

For citation: Balatkhanova E.M., Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Mitina E.A., Rodin A.I., Eremin A.V., Adamtsevich A.O. Optimizatsiya sostava tsementnykh kompozitov s primeneniem napolniteley mestorozhdeniy chechenskoy respubliki [Optimization of Cement Composites with the Use of Fillers From the Chechen Republic Fields]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 12, pp. 121—130. (In Russian)