

УДК 691.544.4

А. А. Мечай, Е. И. Барановская, М. В. Попова
Белорусский государственный технологический университет

КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

Разработаны составы композиционного цемента с заменой 20 мас. % клинкера на карбонатные и дегидратированные алюмосиликатные породы. Объектами исследования являлись композиционный цемент с использованием дегидратированной глины и доломита, алюмосиликатные породы белорусских месторождений – «Даниловцы», «Лукомль», «Кустиха», в качестве карбонатной породы – доломит месторождения «Руба». Определена пуццолановая активность дегидратированных глин. Установлено, что наибольшей пуццолановой активностью обладает дегидратированная глина месторождения «Лукомль». Были изучены основные физико-механические свойства разработанных составов композиционного цемента: удельная поверхность, стандартная консистенция, сроки схватывания, водоотделение. Установлено, что наибольшими прочностными показателями характеризуется состав, включающий, мас. %: клинкер – 76,8; гипс – 3,2; дегидратированная глина – 10; доломит – 10. Так как в твердеющей системе, содержащей карбонаты и алюмосиликаты, возможно образование гидрокарбоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, гидрокарбоната кальция, карбоалюмината кальция, твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, повышение прочности можно объяснить изменением состава и структуры продуктов твердения за счет формирования указанных фаз.

Ключевые слова: композиционный цемент, дегидратированная глина, доломит, прочность на сжатие, удельная поверхность, сроки схватывания, водоотделение.

Для цитирования: Мечай А. А., Барановская Е. И., Попова М. В. Композиционный портландцемент с использованием минеральных добавок на основе природного сырья // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2 (259). С. 100–106.

A. Miachai, Ye. I. Baranovskaya, M. V. Popova
Belarusian State Technological University

COMPOSITE PORTLAND CEMENT USING MINERAL ADDITIVES BASED ON NATURAL RAW MATERIALS

Compositions of composite cement were developed with the replacement of 20 wt. % clinker on carbonate and dehydrated aluminosilicate rocks. The objects of study were composite cement using dehydrated clay and dolomite, aluminosilicate rocks of Belarusian deposits – “Danilovtsy”, “Lukoml”, “Kustikha”, dolomite of the “Ruba” deposit as a carbonate rock. The pozzolanic activity of dehydrated clays was determined. It has been established that dehydrated clay from the “Lukoml” deposit has the highest pozzolanic activity. The main physical and mechanical properties of the developed compositions of composite cement were determined: specific surface, standard consistency, setting time, water separation. It has been established that the composition containing, wt. %: clinker – 76.8; gypsum – 3.2; dehydrated clay – 10; dolomite – 10. Since in the hardening system containing carbonates and aluminosilicates, the formation of calcium hydrocarboaluminate $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, calcium hydrogen carbonate, calcium carboaluminate, solid solutions between calcium hydro-carboaluminate and calcium hydroxoaluminate composition $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, the increase in strength can be explained by a change in the composition and structure of hardening products due to the formation of these phases.

Key words: composite cement, dehydrated clay, dolomite, compressive strength, specific surface area, setting time, water separation.

For citation: Miachai A., Baranovskaya Ye. I., Popova M. V. Composit portland cement using mineral additives based on natural raw materials. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2022, no. 2 (259), pp. 100–106 (In Russian).

Введение. Композиционный цемент представляет собой гидравлическое вяжущее, получаемое совместным тонким помолом портландцементного клинкера, гипсового камня и комплексной добавки, состоящей из двух и более

минеральных компонентов. Производство таких цементов позволяет экономить клинкерную составляющую с сохранением требуемых физико-механических характеристик готового продукта и сопровождается снижением удельного

расхода топлива и выбросов CO_2 в атмосферу. ГОСТ 31108–2003 предусматривает возможность введения в состав цемента до трех минеральных добавок различного генезиса [1]. В странах Евросоюза в качестве наиболее распространенных добавок к цементу используют золу-унос, гранулированный доменный шлак, известняк, кварцевый песок, тонкодисперсный кремнезем, метакаолин, природные пуццоланы и т. д.

Авторами [2] установлено, что введение композиционной добавки (смесь 15 мас. % доменного гранулированного шлака и 15 мас. % отвальной золошлаковой смеси) в дозировке 30 мас. % в состав портландцемента повышает его прочность на сжатие после тепловлажностной обработки по сравнению с бездобавочным в 1,1 раза. Увеличение прочности авторы связывают с повышенным содержанием в цементном камне частично закристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH (В), обнаруженных с помощью рентгенофазового анализа. Однако введение композиционной добавки в дозировке выше 30–40 мас. % замедляет твердение и снижает прочность на сжатие цементного камня при его хранении в воде.

В Беларуси ввиду отсутствия доменного гранулированного шлака была предпринята попытка использования в качестве добавки к цементу электросталеплавильного шлака Белорусского металлургического завода. Специалисты столкнулись с явлением силикатного распада (переход β -модификации $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белита) в неактивную γ -форму), что сопровождалось падением прочности бетона вплоть до полного разрушения, поэтому данное направление было признано неперспективным. Используемые в Беларуси минеральные добавки в основном импортируются из соседних стран. Цементы с добавкой импортного доменного гранулированного шлака обладают рядом недостатков (пониженная коррозионная стойкость, повышенная водопотребность, удлинение сроков схватывания и др.), которые сужают области их применения, несмотря на более низкую себестоимость.

Литературные данные по использованию метакаолина в составе цемента имеют достаточно противоречивый характер. В работах [3–6] показано, что метакаолин при его дозировке 30 мас. % активизирует гидратацию портландцемента, что согласуется с литературными данными [7], показывающими, что для полного связывания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ степень замещения цемента метакаолином должна составлять от 15 до 40 мас. %. Однако в работе [8] установлено, что содержание метакаолина должно составлять не более 3% от массы вяжущего, чтобы избежать коррозии цементного камня. Данные источника [9] показывают, что прирост прочности за счет замены части це-

мента бинарной минеральной добавкой с содержанием 7 мас. % метакаолина и 5 мас. % трепела составляет 15% по сравнению с контрольным бездобавочным образцом. Увеличение содержания метакаолина в добавке до 20% и трепела до 10% сохраняет прочность цементного камня на уровне прочности контрольного состава.

На белорусских цементных заводах имеется опыт производства цемента с добавкой кварцевого песка и импортного известняка, хотя такие цементы из-за ограниченных областей их применения не получили широкого распространения.

Имеющиеся в нашей стране месторождения трепела не пригодны для использования в качестве добавки к цементу вследствие высокого содержания глинистых примесей (цеолитов), а также высокой природной влажности (40–45%), что ухудшает свойства конечного продукта и требует существенных затрат теплоты на сушку. Высокая природная влажность мела (25–30%) и наличие примесей в составе снижают технологичность его применения в качестве добавки к цементу. В связи с этим актуальной является задача расширения сырьевой базы для получения доступных и эффективных минеральных добавок.

Одним из актуальных направлений развития цементной промышленности, удовлетворяющих принципам энерго- и ресурсосбережения, является создание композиционных цементов с использованием минеральных добавок из местного сырья. Особое внимание в связи с этим уделяется термоактивированным полиминеральным глинам, в том числе в их сочетании с карбонатными породами [10]. Научной предпосылкой использования таких добавок в составе цементных композиций являются результаты исследования состава и структуры продуктов твердения, широко представленные в литературе. Авторами работы [11] установлена возможность замены до 20% портландцемента комплексной добавкой термоактивированных смесей на основе полиминеральной глины и известняка с сохранением прочностных характеристик полученного композиционного цементного камня. Прочность композиционного цементного камня в возрасте 28 сут составила 90–95% от прочности бездобавочного образца.

В работах [12] установлено, что при совместном введении в состав цемента 20 мас. % термоактивированной глины и известняка прочность увеличивается на 18%. Оптимальным является содержание термоактивированной глины до 10%, дальнейшее увеличение ее дозировки (до 20%) ведет к снижению прочности цементного камня на 30,0%. При замещении известняком до 10 мас. % портландцемента прочность также увеличивается, что согласуется с данными многих исследователей [13–14], показывающими, что оптимальной дозировкой карбонатных пород является 20%.

В Республике Беларусь имеются месторождения глин полиминерального состава («Даниловцы», «Кустиха», «Лукомль») и доступное карбонатное сырье – доломит месторождения «Руба», которые могут применяться в технологии портландцемента. Учитывая особенности местных глинистых и карбонатных пород, они по-разному будут влиять на процесс твердения и свойства цементного камня.

Цель работы – разработка составов композиционных цементов на основе карбонатных и алюмосиликатных пород белорусских месторождений.

Основная часть. В качестве сырьевых материалов использовали клинкер ОАО «Красносельскстройматериалы», гипсовый камень третьего сорта молдавского месторождения, алюмосиликатные породы белорусских месторождений «Даниловцы», «Лукомль» и «Кустиха», карбонатную породу – доломит месторождения «Руба». Минералогический состав клинкера, мас. %: C_3S – 62, C_2S – 16,5, C_3A – 6,5, C_4AF – 12, примеси – 3. Состав гипсового камня 3-го сорта: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – не менее 80 мас. %, кристаллизационная вода – не менее 16,74 мас. %. Усредненный химический состав глин, мас. %: «Кустиха»: SiO_2 – 65,90; Al_2O_3 – 14,60; Fe_2O_3 – 4,40; CaO – 1,54; TiO_2 – 0,61; MgO – 1,30; K_2O – 0,45; Na_2O – 1,96; SO_3 – нет; ППП – 8,54; «Лукомль»: SiO_2 – 51,20; Al_2O_3 – 16,60; Fe_2O_3 – 7,44; CaO – 5,40; TiO_2 – 0,80; MgO – 2,70; K_2O – 3,99; Na_2O – 0,67; SO_3 – нет; ППП – 11,20; «Даниловцы»: SiO_2 – 58,10; Al_2O_3 – 9,57; Fe_2O_3 – 4,18; CaO – 9,15; TiO_2 – 0,34; MgO – 2,76; K_2O – 2,64; Na_2O – 1,67; SO_3 – 0,25; ППП – 11,22. Усредненный химический состав доломита, мас. %: SiO_2 – 3,11; Al_2O_3 – 1,20; Fe_2O_3 – 0,68; CaO – 29,22; TiO_2 – 0,065; MgO – 19,61; K_2O – 0,34; Na_2O – 0,20; ППП – 45,08.

Цементы получали в лабораторной шаровой мельнице совместным помолом клинкера, минеральных добавок и гипсового камня, содержание которого составляло 4% от массы вяжущего. Помол осуществляли в течение 3 ч до достижения остатка на сите 008 не более 15%. Основные физико-механические свойства композиционных цементов определяли в соответствии с СТБ EN 196-1-2018. Стандартные образцы для испытания на прочность готовили при водоцементном отношении (В / Ц), равном 0,5. Прочность образцов определяли в возрасте 2, 7 и 28 сут. Водоотделение образцов композиционного цемента определяли по ГОСТ 310.6–2020.

Установление пуццолановой активности алюмосиликатных пород различных месторождений проводили по стандартной методике: 1 г добавки (навеску добавки измельчали в агатовой ступке до прохождения через сито № 008)

переносили в градуированный цилиндр емкостью 100 см³, в который затем добавляли 100 мл насыщенного раствора извести (с концентрацией CaO 1,05–1,15 г/л) и содержимое энергично взбалтывали. Через 2 сут из цилиндра для титрования отбирали 50 мл раствора и титровали 0,05 н. HCl с индикатором метилоранж (2–3 капли). Титрование проводили каждые 2 дня. После титрования в цилиндр добавляли раствор извести (50 мл). Активность минеральных добавок определяли количеством $Ca(OH)_2$, которое поглощает 1 г добавки за 30 сут.

Пуццолановая активность является важным показателем добавок, которые могут использоваться в составе композиционных цементов. С целью получения добавки с максимальной пуццолановой активностью проводили термообработку глин указанных месторождений при температуре 700–900°C и времени выдержки 20 мин. Зависимость пуццолановой активности добавок на основе глин различных месторождений от температуры обжига представлена на рис. 1.

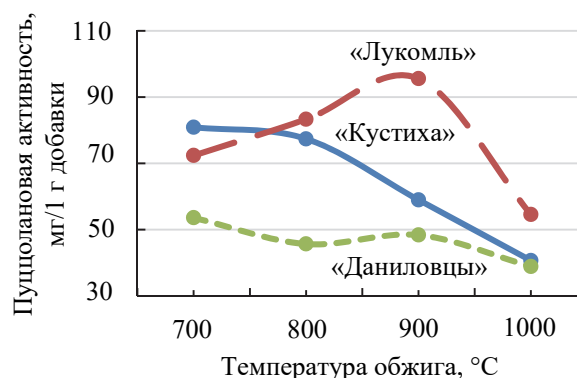


Рис. 1. Зависимость пуццолановой активности обожженных глин от температуры

Анализ полученных данных показал, что параметры обжига по-разному влияют на свойства добавок, что обусловлено их химическим и минералогическим составом. Так как при температуре обжига глины месторождения «Лукомль» 900°C получена добавка с максимальной пуццолановой активностью, она выбрана в качестве оптимальной для дальнейших исследований.

Данные, представленные в литературе [15], показывают, что глинистую добавку целесообразно вводить совместно с карбонатной, в связи с чем в работе исследовали составы композиционных цементов, представленные в табл. 1.

Согласно СТБ EN 196-1-2018, для определения прочностных характеристик цемента изготавливали образцы-балочки размером 40×40×160 мм из цементно-песчаного раствора, состоящего из одной весовой части цемента и трех весовых частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента (ГОСТ 6139–2003) с размером

зерен от 2,00 до 0,08 мм. Зависимости прочности на изгиб и сжатие цементного камня от содержания добавок представлены на рис. 2 и 3.

Таблица 1
Составы композиционных цементов

Шифр состава	Содержание компонентов, мас. %			
	клинкер	гипс	дегидратированная глина	доломит
Контр.	96	4	–	–
1	86,4	3,6	5	5
2	81,6	3,4	5	10
3	72	3	5	20
4	62,4	2,6	5	30
5	86,4	3,6	10	–
6	76,8	3,2	10	10
7	67,2	2,8	10	20
8	57,6	2,4	10	30

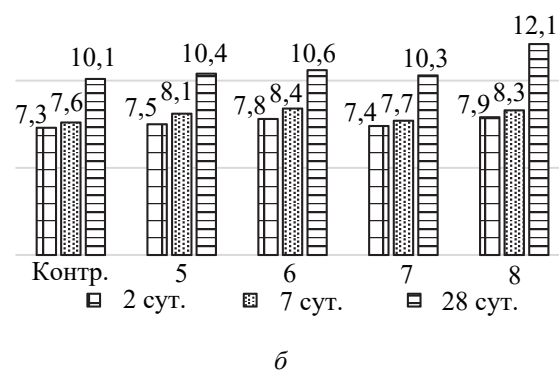
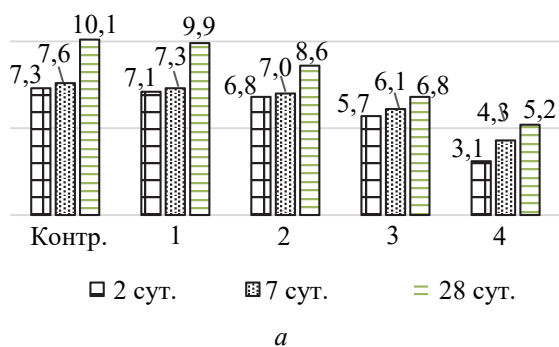


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб (МПа) цементного камня шифров 1–4 (а) и цементного камня шифров 5–8 (б) от состава

Анализ полученных данных показал, что для образцов состава 5–8 наблюдается повышение прочности цементного камня в присутствии добавок. Это связано с изменением состава и структуры продуктов гидратации за счет участия компонентов добавок в процессах твердения. В твердеющей системе, содержащей карбонаты и алюмосиликаты, возможно образование гидрокарбоалюмината каль-

ция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, гидрокарбоната кальция, карбоалюмината кальция, а также твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ [16]. Вероятно, формирование указанных фаз способствует уплотнению и упрочнению структуры цементного камня.

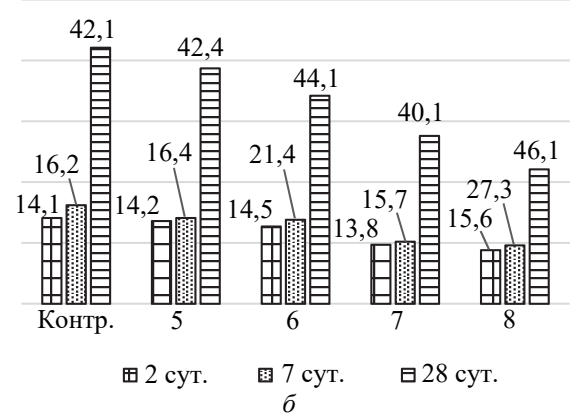
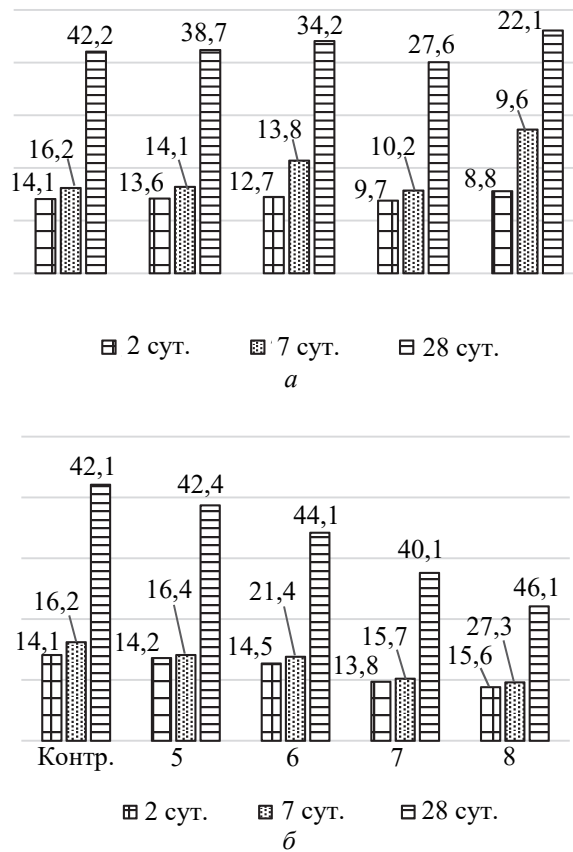


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие (МПа) цементного камня шифров 1–4 (а) и цементного камня шифров 5–8 (б) от состава

Полученные образцы композиционного цемента, характеризующиеся наиболее высокими прочностными показателями (шифры 5–8), были испытаны в аккредитованной лаборатории ГП «Института НИИСМ». Зависимости прочности на изгиб и сжатие цементного камня от состава представлены на рис. 4 и 5.

Установлено, что прочность на сжатие для составов 5 и 6 в возрасте 28 сут. составила 37,8 МПа и 40,2 МПа соответственно. Представленные результаты согласуются с экспериментальными данными, полученными в лабораторных условиях.

Так как цементы должны не только обеспечивать высокую прочность, но и удовлетворять требованиям стандартов по другим важным показателям, для оптимальных составов (шифры 5–8) были определены физико-механические свойства, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов композиционного цемента

Шифр состава	Стандартная консистенция, %	Водоотделение, %	Удельная поверхность, см ² /г	Сроки схватывания, мин	
				начало	конец
контр.	24,5	31,89	3811,5	100	195
5	25,5	25,60	3897	170	280
6	25,0	23,9	3854	150	270
7	25,0	22,5	3892	90	200
8	25,0	21,9	3858	85	240

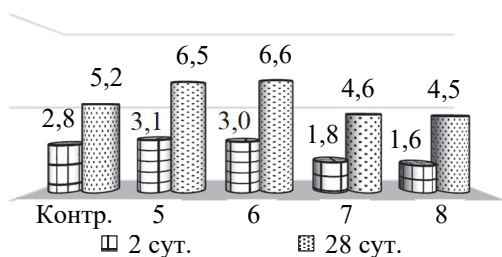


Рис. 4. Зависимость прочности на изгиб (МПа) цементного камня от состава

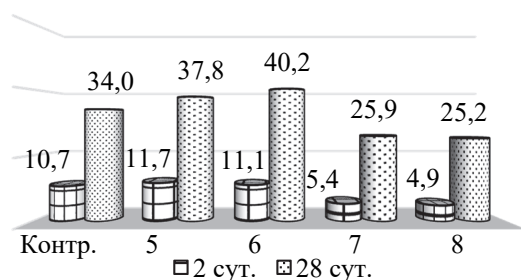


Рис. 5. Зависимость прочности на сжатие (МПа) цементного камня от состава

Полученные образцы цемента соответствуют требованиям СТБ EN 196-1-2018. Таким образом, показано, что совместное использование глинистых и карбонатных пород позволяет получить композиционные цементы с требуемыми физико-механическими свойствами.

Заключение. Определена пуццолановая активность термообработанных алюмосиликатных пород. Установлено, что наибольшей активностью обладает добавка на основе глины месторождения «Лукомль», обожженной при температуре 900°C. Разработаны составы композиционных цемента с содержанием добавок 20 мас. % (10 мас. % термообработанная глина и 10 мас. % доломита). Определены основные физико-механические свойства композиционного цемента: удельная поверхность, стандартная консистенция, сроки схватывания, водоотделение. Оптимальное содержание специальным образом подготовленных глинистых и карбонатных пород в составе цемента обеспечивает получение продукта, соответствующего требованиям СТБ EN 196-1-2018.

Список литературы

- ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: ФГУП ЦПП, 2003. 27 с.
- Капустин А. Ф., Семериков И. С. Состав и свойства композиционного цемента с добавкой золошлаковой смеси ТЭС // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2011. Т. 24, № 16. С. 38–40.
- Curcio F., Deangelis B. A., Pagliolico S. Metakaolin as pozzolanic micro filler for highperformance mortars // Cement and Concrete Research. 1998. No. 6. P. 803–809.
- Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 480 с.
- Бутт Н. М. Технология цемента и других вяжущих материалов. М.: Стройиздат. 1976. С. 344.
- Кирсанова А. А., Крамар Л. Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакеолина для цементных бетонов // Строительные материалы. 2013. № 10. С. 54–56.
- Heikal M. Effect of calcium formate as an accelerator on the chemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes // Cement and Concrete Research. 2004. No. 34. P. 1051–1056.
- Комплексный модификатор с метакеолином для получения цементных композитов с высокой ранней прочностью и стабильностью / А. А. Кирсанова [и др.] // Вестник ЮУрГУ. 2013. Т. 13, № 1. С. 49–57.
- Композиционные цементы на основе минеральной бинарной добавки и суперпластификатора / З. А. Камалова [и др.] // Вестник казанского технологического университета. 2014. Т. 19, № 13. С. 216–219.
- Термическая активация и пуццолановая активность кальцинированных глин для использования в портландцементных с добавками / Й. Скибстед [и др.] // Цемент и его применение. 2016. № 1. С. 144–151.
- Исследование влияния добавок термоактивированных смесей на свойства композиционного цемента / Е. Ю. Ермилова [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2 (40). С. 220–227.

12. Комплексная добавка на основе местного сырья Республики Татарстан для композиционного цемента / Е. Ю Ермилова [и др.] // Вестник казанского технологического университета. 2015. Т. 19, № 13. С. 204–207.
13. Тимашев В. В., Колбасов В. М. Свойства цементов с карбонатными добавками // Цемент. 1981. № 10. С.10–12.
14. Марданова Э. И. Многокомпонентные цементы с добавками местного минерального сырья: дис... канд. техн. наук. Казань, 1991. 210 с.
15. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / В. К Козлова [и др.] // Цемент и его применение. 2012. № 3. С. 125–129.
16. Особенности состава продуктов гидратации композиционных портландцементов с карбонатсодержащими добавками / В. К Козлова [и др.] // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 103–105.

References

1. GOST 31108-2003. General construction cements. Specifications. Moscow, 2003. 27 p. (In Russian).
2. Kapustin A. F., Semerikov I. S. Content and properties of composite cement with admixture of ash slag mixture of a thermal power plant. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 2011, vol. 24, no. 16, pp. 38–40 (In Russian).
3. Curcio F., Deangelis B. A., Pagliolico S. Metakaolin as pozzolanic micro filler for highperformance mortars. *Cement and Concrete Research*, 1998, no. 6, pp. 803–809.
4. Volzhenskiy A. V., Burov Yu. S., Kolokolnikov V. S. *Mineral'nyye vyazhushchiye. Tekhnologiya i svoystva* [Mineral binders. Technology and properties]. Moscow, EKOLIT Publ., 2011. 480 p. (In Russian).
5. Butt N. M. *Tekhnologiya tsementa i drugikh vyazhushchikh materialov* [Technology of cement and other binders]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 344 p. (In Russian).
6. Kirsanova A. A., Kramar L. Ya. Organo-mineral modifiers based on metakaolin for cement concretes. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2013, no. 10, pp. 54–56 (In Russian).
7. Heikal M. Effect of calcium formate as an accelerator on the chemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2004, no. 34, pp. 1051–1056.
8. Kirsanova A. A., Kramar L. Ya., Chernykh T. N., Stafeeva Z. V., Argynbaev T. M. Complex modifier with metakaolin for obtaining cement composites with high early strength and stability. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 2013, vol. 13, no. 1, pp. 49–57 (In Russian).
9. Kamalova Z. A., Ermilova E. Yu., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. Composite cements based on binary mineral additive and superplasticizer. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, vol. 19, no. 13, pp. 216–219 (In Russian).
10. Skibsted Y., Dai Z., Rasmussen K. E., Garg N. Thermal activation and pozzolanic activity of calcined clays for use in Portland cements with additives. *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application], 2016, no. 1, pp. 144–151 (In Russian).
11. Ermilova E. Yu., Kamalova Z. A., Rakhimov R. Z., Mustafina A. R. Research of the influence of additives of thermally activated mixtures on the properties of composite cement. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, no. 2 (40), pp. 220–227 (In Russian).
12. Ermilova E. Yu., Kamalova Z. A., Rakhimov R. Z., Stoyanov O. V. Complex additive based on local raw materials of the Republic of Tatarstan for composite cement. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2015, vol. 19, no. 13, pp. 204–207 (In Russian).
13. Timashev V. V., Kolbasov V. M. Properties of cements with carbonate additives. *Tsement* [Cement], 1981, no. 10, pp. 10–12 (In Russian).
14. Mardanova E. I. *Mnogokomponentnyye tsementy s dobavkami mestnogo mineral'nogo syr'ya. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Multicomponent cements with additives of local mineral raw materials. Dissertation PhD (Engineering)]. Kazan', 1991. 210 p. (In Russian).
15. Kozlova V. K., Manokha A. M., Likhoshestov A. A., Manuilov E. V., Malova E. Yu. Influence of carbonate-containing additives on the properties of composite cements. *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application], 2012, no. 3, pp. 125–129 (In Russian).
16. Kozlova V. K., Manokha A. M., Likhoshestov A. A., Manuilov E. V., Malova E. Yu. Features of the composition of hydration products of composite Portland cements with carbonate-containing additives. *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application], 2014, no. 4, pp. 103–105 (In Russian).

Информация об авторах

Мечай Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: aa_m@tut.by

Барановская Екатерина Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: elf01@tut.by

Попова Марина Витальевна – ассистент кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: marinnova@tut.by

Information about the authors

Miachai Alliaksandr – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aa_m@tut.by

Baranovskaya Yekaterina Ivanovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Technology of Binding Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elf01@tut.by

Popova Marina Vital'yevna – assistant lecturer, the Department of Technology of Inorganic Substances and General Chemical Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: marinnova@tut.by

Поступила 20.05.2022