Д. т. н. **Т. М. Худякова**, к. т. н. **А. С. Колесников** (✉), д. т. н. **Б. Е. Жакипбаев**, к. т. н. **Г. С. Кенжибаева**, к. т. н. **А. Н. Кутжанова**, к. т. н. **Г. М. Изтлеуов**, **Н. Н. Жаникулов**, **О. Г. Колесникова**, **Е. Мынбаева**

Южно-Казахстанский государственный университет имени М. О. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан

УДК 666.9.031.004.42

ОПТИМИЗАЦИЯ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ С ИССЛЕДОВАНИЕМ ПОЛУЧЕНИЯ СМЕШАННЫХ ЦЕМЕНТОВ И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Приведены результаты исследований оптимизации трехкомпонентной сырьевой смеси для получения смешанного цемента. Оптимизацию проводили с применением программного комплекса ROCS, разработанного учеными из БГТУ им. В. Г. Шухова и предназначенного для расчета и оптимизации многокомпонентных сырьевых смесей цементного производства. В результате получены оптимальные составы сырьевых смесей. Полученный цемент при смешении 57 % рядового, 40 % низкоосновного клинкера и 3 % гипса обладает повышенной прочностью на 7,4 и 27,7 % по отношению к рядовому и низкоосновному цементу соответственно.

Ключевые слова: *оптимизация сырьевых смесей, цементный клинкер, смешанный цемент, белит, расход топлива ($G_{топл}$), тепловой эффект клинкерообразования (ТЭК).*

Начальной и определяющей стадией производства таких важнейших строительных материалов, как цемент, бетон, стекло, керамика, является приготовление смесей с заданными свойствами из разнородных по физико-химическим характеристикам исходных компонентов [1–6]. Изучив химический состав минерального и техногенного сырья, в частности известняка Казыкуртского месторождения, лёсса Текесуйского месторождения и техногенных отходов сернокислотной промышленности — пиритных огарков (табл. 1), авторы настоящей статьи для подбора оптимального состава сырьевой смеси цементного клинкера проводили оптимизацию трехкомпонентной сырьевой смеси с применением программного комплекса ROCS [7].

Программа ROCS предназначена для расчета и оптимизации многокомпонентных сырьевых смесей при получении обычных и специальных цементов с учетом введения в сырьевую смесь или в печь техногенных и нетрадиционных материалов. Программа ROCS по сравнению со всеми существующими отечественными и зарубежными программами и методами обладает рядом новых возможностей и позволяет:

– рассчитывать смеси с любым числом компонентов;

– учитывать введение в сырьевую смесь или непосредственно в печь неограниченного числа добавок (компонентов с заданным расходом);

– рассчитывать составы специальных цементов по различным методикам (например, применяемым в Великобритании или США);

– оптимизировать состав сырьевой смеси и клинкера по различным характеристикам, в том числе по энергоемкости получаемых смесей;

– выдавать рекомендации по составлению смесей на основе сырьевой базы конкретного предприятия;

Таблица 1. **Химический состав сырьевых компонентов для получения цементного клинкера заданного минерального состава, %**

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$	Прочее
Известняк	1,29	0,15	0,44	54,88	0,61	0,16	0,07	–	42,36	0,04
Лёсс	51,40	11,28	4,48	13,20	2,35	0,96	1,01	1,78	13,54	–
Пиритные огарки	8,20	3,45	82,53	1,25	–	–	–	–	3,61	0,96

✉
А. С. Колесников
E-mail: kas164@yandex.ru

– проводить графический анализ характеристик смесей и клинкера, в том числе в зависимости от расхода добавок;

– расширять и настраивать программу для учета сырьевой базы предприятия, выпускаемой продукции, расчета новых видов клинкеров и применения новых методик расчета.

В основе программы лежит фундаментальная научная работа — методы расчета и оптимизации многокомпонентных силикатосодержащих систем и сырьевых смесей [7]. Кроме расчета, когда задаются характеристики с числом на единицу меньше числа сырьевых компонентов, а рассчитанные сырьевая смесь и клинкер в точности соответствуют заданным требованиям, в программе имеется возможность оптимизировать сырьевую смесь. При оптимизации требования к клинкеру или сырьевой смеси задаются следующими способами:

– точное значение, приблизительное значение (программа подбирает состав смеси так, чтобы значение характеристики было как можно ближе к заданной);

– ограничение (диапазон изменения, за пределы которого значение выйти не может); минимальное или максимальное значение.

Эти способы могут быть заданы в любой комбинации, например для оптимизации трехкомпонентной смеси возможны следующие варианты, которые показаны на интерфейсе программного комплекса (рис. 1).

При помощи программного комплекса ROCS для оптимизации сырьевой смеси и минерального состава клинкера авторами настоящей статьи был проведен ряд расчетов с различным коэффициентом насыщения (КН) при постоянном силикатном модуле *n*, который был принят во всех расчетах равным 2,8. Из всех проведенных расчетов были выбраны три расчета при КН = 0,92 (табл. 2, 3), КН = 0,80 (табл. 4, 5) и КН = 0,70 (табл. 6, 7). Оптимизация осуществлялась по следующим параметрам: по минеральному составу клинкера (в частности, по содержанию белита C_2S); по $G_{топл}$ и ТЭК. Минеральный состав клинкера при КН = 0,92, мас. %: C_3S (алит) 64,01, C_2S (белит) 15,30, C_3A 7,17, C_4AF 9,69, $CaSO_4$ 0,96, MgO 1,62. Минеральный состав клинкера при КН = 80, мас. %: C_3S 36,42, C_2S 41,30, C_3A 7,84, C_4AF 10,42, $CaSO_4$ 1,00, MgO 1,67.

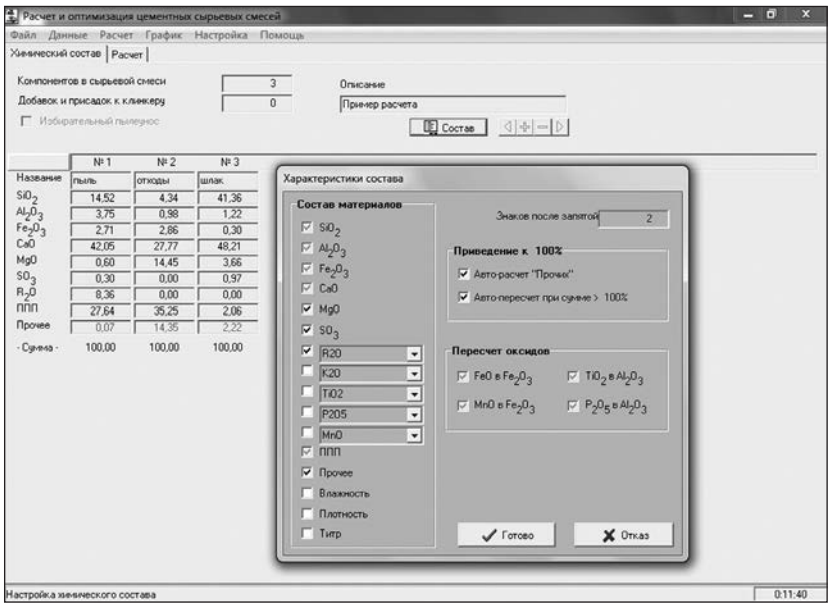


Рис. 1. Интерфейс программы ROCS при оптимизации трехкомпонентной смеси

Таблица 2. **Результаты расчета покомпонентного химического состава сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,92*, %**

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$	Прочее
Сырьевая смесь										
Известняк	0,941	0,109	0,321	40,047	0,445	0,117	0,051	–	30,911	0,029
Пиритные огарки	0,058	0,024	0,585	0,009	–	–	–	–	0,026	0,007
Лёсс	13,528	2,969	1,179	3,474	0,618	0,253	0,266	0,468	3,564	–
Сырьевая смесь	14,53	3,10	2,09	43,53	1,06	0,37	0,32	0,47	34,50	0,04
Клинкер										
Известняк	1,437	0,167	0,490	61,141	0,680	0,178	0,078	–	0,045	1,437
Пиритные огарки	0,089	0,037	0,894	0,014	–	–	–	–	0,010	0,089
Лёсс	20,653	4,532	1,800	5,304	0,944	0,386	0,406	0,715	–	20,653
Клинкер	22,18	4,74	3,18	66,46	1,62	0,56	0,48	0,72	0,05	22,18

* *p* (глиноземный модуль) = 1,488, ТЭК (тепловой эффект клинкерообразования) = 394 ккал/кг, $G_{топл}$ (расход топлива на обжиг) = 203,9 кг усл.топлива / т клинкера.

Таблица 3. **Составы сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,92**

Компонент	Содержание компонента				
	в сырьевой смеси (1 % уноса)*		в сырьевой смеси		в клинкере, %
	кг/кг клинкера	%	кг/кг клинкера	%	
Известняк	1,1253	72,97	1,1141	72,97	64,22
Пиритные огарки	0,0109	0,71	0,0108	0,71	1,04
Лёсс	0,4059	26,32	0,4018	26,32	34,74
Сумма	1,5421	100,00	1,5267	100,00	100,00

* Параметр уноса сырьевой смеси при обжиге с отходящими газами системой улавливания.

Таблица 4. **Результаты расчета покомпонентного химического состава сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,80*, %**

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$	Прочее
Сырьевая смесь										
Известняк	0,905	0,105	0,309	38,490	0,428	0,112	0,049	–	29,709	0,028
Пиритные огарки	0,066	0,028	0,660	0,010	–	–	–	–	0,029	0,008
Лёсс	14,940	3,279	1,302	3,837	0,683	0,279	0,294	0,517	3,936	–
Сырьевая смесь	15,91	3,41	2,27	42,34	1,11	0,39	0,34	0,52	33,67	0,04
Клинкер										
Известняк	1,364	0,159	0,465	58,030	0,645	0,169	0,074	–	0,042	1,364
Пиритные огарки	0,099	0,042	0,995	0,015	–	–	–	–	0,012	0,099
Лёсс	22,525	4,943	1,963	5,785	1,030	0,421	0,443	0,780	–	22,525
Клинкер	23,99	5,14	3,42	63,83	1,67	0,59	0,52	0,78	0,05	23,99

*p = 1,502, ТЭК = 365,4 ккал/кг, $G_{топл}$ = 197,7 кг усл. топлива /т клинкера.

Таблица 5. **Составы сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,80**

Компонент	Содержание компонента				
	в сырьевой смеси (1 % уноса)*		в сырьевой смеси		в клинкере, %
	кг/кг клинкера	%	кг/кг клинкера	%	
Известняк	1,0681	70,13	1,0574	70,13	60,95
Пиритные огарки	0,0122	0,80	0,0121	0,80	1,16
Лёсс	0,4427	29,07	0,4382	29,07	37,89
Сумма	1,5229	100,00	1,5077	100,00	100,00

* См. сноску к табл. 3.

Таблица 6. **Результаты расчета покомпонентного химического состава сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,70*, %**

Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$	Прочее
Сырьевая смесь										
Известняк	0,868	0,101	0,296	36,946	0,411	0,108	0,047	–	28,517	0,027
Пиритные огарки	0,073	0,031	0,734	0,011	–	–	–	–	0,032	0,009
Лёсс	16,340	3,586	1,424	4,196	0,747	0,305	0,321	0,566	4,304	–
Сырьевая смесь	17,28	3,72	2,45	41,15	1,16	0,41	0,37	0,57	32,85	0,04
Клинкер										
Известняк	1,293	0,150	0,441	55,023	0,612	0,160	0,070	–	0,040	1,293
Пиритные огарки	0,109	0,046	1,093	0,017	–	–	–	–	0,013	0,109
Лёсс	24,335	5,340	2,121	6,249	1,113	0,454	0,478	0,843	–	24,335
Клинкер	25,74	5,54	3,66	61,29	1,72	0,61	0,55	0,84	0,05	25,74

*p = 1,515, ТЭК = 337,8 ккал/кг, $G_{топл}$ = 191,7 кг усл. топлива / т клинкера.

Таблица 7. **Составы сырьевой смеси и клинкера при КН = 0,70**

Компонент	Содержание компонента				
	в сырьевой смеси (1 % уноса)*		в сырьевой смеси		в клинкере, %
	кг/кг клинкера	%	кг/кг клинкера	%	
Известняк	1,0127	67,32	1,0026	67,32	57,79
Пиритные огарки	0,0134	0,89	0,0132	0,89	1,28
Лёсс	0,4782	31,79	0,4734	31,79	40,93
Сумма	1,5043	100,00	1,4893	100,00	100,00

* См. сноску к табл. 3.

Установлено, что самые оптимальные параметры состава сырьевой смеси, минерального состава клинкера и расхода условного топлива получены при КН = 0,70 и n = 2,8 (табл. 6). Видно, что при данных условиях минеральный состав представлен, %: C_3S 9,73, C_2S 66,44, C_3A 8,49, C_4AF 11,12, $CaSO_4$ 1,05, MgO 1,72. При этом $G_{топл}$ составил 191,7 кг усл. топлива / т клинкера. На основании полученных данных построены графики зависимости $G_{топл}$ и ТЭК от КН (рис. 2). Как видно из рис. 2, *а*, с понижением КН от 0,92 до 0,70 $G_{топл}$ уменьшается от 203,9 до 191,7 кг/т клинкера, что приводит к экономии энергии и ресурсосбережению. Зависимость описывается линейной функцией с достаточно высоким коэффициентом аппроксимации 0,99. Снижение КН от 0,92 до 0,70 приводит к уменьшению ТЭК от 1649,6 до 1414,3 кДж соответственно, что также подтверждает процесс ресурсосбережения. Зависимость ТЭК от КН описывается линейной функцией с коэффициентом аппроксимации 0,998.

Производство цемента относится к материало- и энергоемким отраслям. Одним из важнейших направлений развития цементной промышленности является снижение энергозатрат. Уменьшение энергоемкости цементного производства может быть обеспечено при сокращении доли энергоемкого клинкера в составе портландцемента, т. е. при

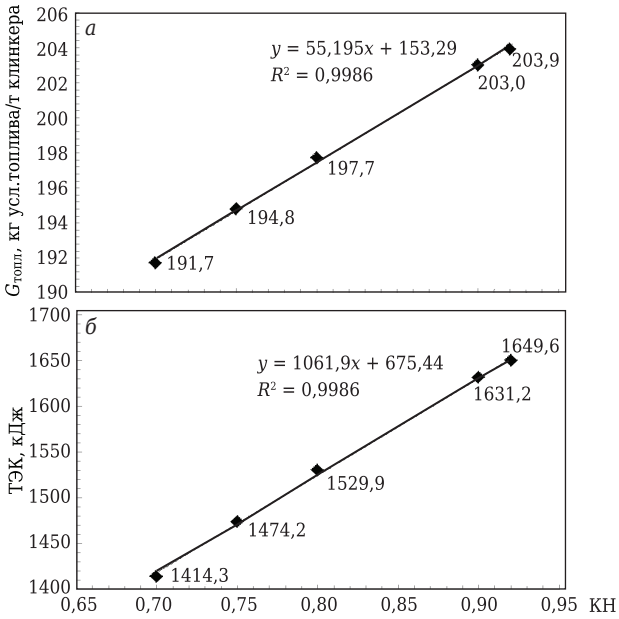


Рис. 2. Зависимости $G_{топл}$ (*а*) и ТЭК (*б*) от КН

выпуске многокомпонентного цемента, а также при снижении температуры клинкерообразования за счет перехода к белитовым клинкерам, применения минерализаторов, использования нетрадиционных источников сырья и отходов.

Эффективным направлением экономии энергоресурсов при производстве портландцемента является снижение КН клинкера, так как при этом уменьшается также содержание карбоната кальция в сырьевой смеси. Как известно, низкоосновный клинкер обжигается при 1350 °С, но обладает невысокой гидратационной активностью в ранние сроки твердения. В странах СНГ и за рубежом разработано несколько способов, активизирующих процесс гидратации белита [8–11]. В основном все они предусматривают или воздействие добавок в процессе обжига, или обеспечение чрезвычайно высокой скорости охлаждения клинкера с тем, чтобы стабилизировать наиболее высокоактивные модификации белита. Это требует дополнительных затрат или даже реконструкции оборудования.

Другим направлением повышения прочности цемента из низкоосновного клинкера является получение высокопрочного смешанного цемента путем совместного измельчения высокоосновного и низкоосновного клинкера. В лабораторных условиях на кафедре «Технологии цемента, керамики и стекла» ЮКГУ им. М. О. Ауэзова из сырьевых материалов цементного завода АО «Шымкентцемент», согласно расчетным данным (см. табл. 2, 3, 6, 7), были приготовлены сырьевые смеси, из которых формовали таблетки диаметром 30 и высотой 20 мм под давлением 20 МПа, которые затем обжигали в силитовой печи при 1450 °С для получения высокоосновного клинкера с КН = 0,92 и при 1380 °С с выдержкой 30 мин для получения низкоосновного клинкера. В полученных спеках определяли содержание свободного CaO этилово-глицератным методом в соответствии с требованиями ГОСТ 5382. Содержание свободного CaO в клинкере составляло соответственно 1,2 % для рядового клинкера с КН = 0,92, 0,8 % для низкоосновного с КН = 0,7.

Микрофотографии со сколов спеков синтезированного цементного клинкера, в частности высокоосновного и низкоосновного, показаны на рис. 3. Микрофотографии получены на растро-

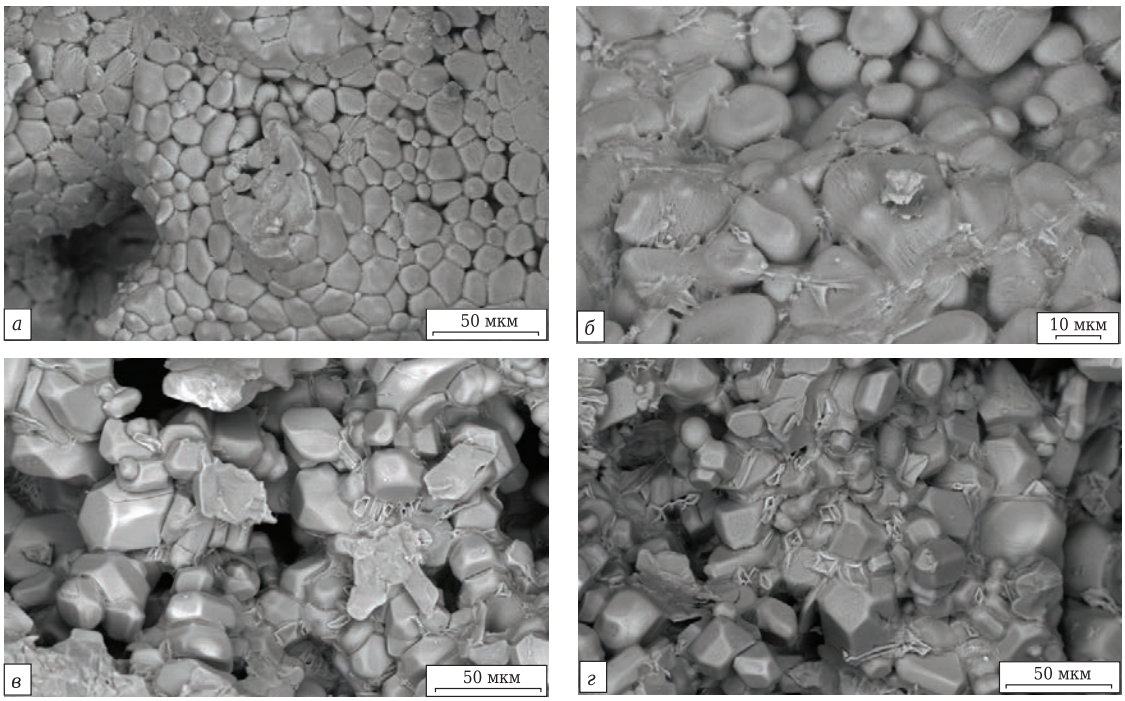


Рис. 3. РЭМ-микрофотографии, полученные со скола белитового (*а, б*) и алитового клинкера (*в, г*)

вом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6490 LV фирмы JEOL, для которого исследуемый образец не требует предварительной подготовки, но должен быть тщательно очищен. Размеры исследуемого образца определялись габаритами камеры микроскопа. Анализ микрофотографий позволяет сделать вывод, что кристаллизация минералов в клинкере с КН = 0,92 сравнительно четкая, распределение их равномерное. Наряду с участками сравнительно хорошо сформировавшихся кристаллов алита C_3S белит C_2S представлен кристаллами круглой и овальной форм; на поверхности гранул алита и белита и между ними отчетливо просматриваются алюминатная фаза (темное промежуточное вещество) и алюмоферритная (светлое промежуточное вещество). На микрофотографиях белитового клинкера с КН = 0,70 белит представлен мелкими зернами овальной и круглой форм, находящимися в непосредственном контакте друг с другом. Отчетливо просматривается незначительное содержание алюминатной и алюмоферритной фаз.

Смешанный цемент с удельной поверхностью частиц 3200 см^2/г в лабораторных условиях был получен путем помола рядового клинкера с КН = 0,92 и мелкокристаллического клинкера с КН = 0,70 при добавлении к рядовому клинкеру при помоле 40 % низкоосновного клинкера и 3 % гипса. Затем из смешанного цемента изготавливали образцы-кубы с ребром 2 см, а также образцы из рядового и низкоосновного цемента. Затвердевшие образцы испытывали на предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут: у образцов из рядового цемента он составил 50 МПа, из низкоосновного 39 МПа, из смешанного 54 МПа; прочность смешанного цемента превысила прочность рядового и низкоосновного на 7,4 и 27,7 % соответственно, что согласуется с результатами ряда исследователей [5, 12–15].

Повышение прочности цемента Л. Я. Гольдштейн [5, 16] объясняет изменением его гранулометрического состава. При совместном измельчении рядового и низкоосновного клинкера в цементе значительно увеличивается содержание фракции мельче 6 мкм. По данным З. Б. Энтина [17], именно незначительное увеличение содержания фракции мельче 5 мкм обеспечивает более высокое качество цемента.

Таким образом, на основании проведенных исследований по оптимизации сырьевой смеси, обжигу и получению цементного клинкера определенного минерального состава можно сделать следующие выводы:

– наиболее оптимальные данные по химическому составу сырьевой смеси, минеральному составу цементного клинкера, по данным $G_{топл}$ и ТЭК дает расчет с КН = 0,70 и n = 2,8;

– при КН = 0,70 и n = 2,8 возможно получение цементного клинкера следующего минерального состава, %: C_3S 9,73, C_2S 66,44, C_3A 8,49 и C_4AF 11,12;

– с понижением КН от 0,92 до 0,70 уменьшается расход $G_{топл}$ от 203,9 до 191,7 кг/т клинкера, что приводит к экономии энергии и ресурсосбережению;

– зависимости $G_{топл}$ и ТЭК от КН описываются линейной функцией с высокими коэффициентами аппроксимации (> 0,9);

– снижение КН от 0,92 до 0,70 приводит к уменьшению ТЭК от 1649,6 до 1414,3 кДж соответственно, что подтверждает процесс ресурсосбережения. Вместе с тем известны и проблемы белитового клинкера — в целом пониженная гидравлическая активность белита. Решить эту проблему можно получением смешанного цемента (рядового и низкоосновного), прочность которого в возрасте 28 сут превышает прочность рядового цемента на 7,4 %.

Библиографический список

1. ***Suárez Silgado, S.*** Multi-criteria decision analysis to assess the environmental and economic performance of using recycled gypsum cement and recycled aggregate to produce concrete: the case of Catalonia (Spain) / *S. Suárez Silgado, L. Calderón Valdiviezo, S. Gassó Domingo, X. Roca* // Resources, Conservation and Recycling. — 2018. — Vol. 133. — P. 120–131.

2. ***Souza, M. T.*** Electrolytes' influence on foamability and foam stability of cement suspensions / *M. T. Souza, C. K. Maykot, A. C. Z. Araújo* [et al.] // Construction and Building Materials. — 2017. — Vol. 157. — P. 363–371. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.043.

3. ***Onutai, S.*** Aluminium hydroxide waste based geopolymer composed of fly ash for sustainable cement materials / *S. Onutai, S. Jiemsirilers, P. Thavorniti, T. Kobayashi* // Construction and Building Materials. — 2015. — Part 1 (101). — P. 298–308. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.097.

4. ***Brykov, A. S.*** Hydration of Portland cement in the presence of high activity aluminum hydroxides / *A. S. Brykov, A. S. Vasil'ev, M. V. Mokeev* // Rus. J. Appl. Chem. — 2012. — Vol. 85, № 12. — P. 1793–1799. DOI: 10.1134/S1070427212120014.

5. ***Шаповалов, Н. А.*** Исследование возможности использования отходов флотации железных руд для получения смешанных цементов / *Н. А. Шаповалов, Л. Х. Загороднюк, И. В. Тикунова* [и др.] // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10 (часть 8). — С. 1718–1723. URL: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32650 (дата обращения: 31.08.2018).

6. ***Taimasov, B. T.*** Development and testing of low-energy-intensive technology of receiving sulphate-resistant and road portlandcement / *B. T. Taimasov, B. K. Sarsenbayev, T. M. Khudyakova* [et al.] // Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2017. — Vol. 19, № 4. — P. 347–355. DOI: 10.18321/ectj683.

7. ***Трубаев, П. А.*** Программа расчета и оптимизации цементных сырьевых смесей «ROCS» / *П. А. Трубаев.* — Белгород : БГТУ им В. Г. Шухова, 2006. — 60 с.

8. ***Liu, Y.*** Active belite cement clinker produced with mineral waste / *Y. Liu, Y. Zheng* // Adv. Mater. Res. — 2013. — Vol. 610–613. — P. 2378–2385.

9. ***Bouzidi, M. A.*** Synthesis and characterization of belite cement with high hydraulic reactivity and low environmental impact / *M. A. Bouzidi, A. Tahakourt, N. Bouzidi, D. Merabet* // Arabian Journal for Science and Engineering. — 2014. — Vol. 39, № 12. — P. 8659–8668. https://doi.org/10.1007/s13369-014-1471-2.

10. ***Xiuji, Feng.*** Study on the structure and characteristic of dicalcium silicate with quantum chemistry calculations / *Feng Xiuji, Min Xinmin, Tao Congxi* // Cem. Concr. Res. — 1994. — Vol. 24, № 7. — P. 1311–1316. DOI: 10.1016/0008-8846(94)90116-3.

11. ***Худякова, Т. М.*** Один из путей повышения гидравлической активности низкоосновных цементов / *Т. М. Худякова, О. Г. Колесникова, И. И. Полякова, А. С. Колесников* // European Student Scientific Journal. — 2017. — № 2. URL: http://sjes.esrae.ru/ru/article/view?id=414 (дата обращения: 31.08.2018).

12. ***Гольдштейн, Л. Я.*** Энергосбережение и повышение качества цементов при совместном размоле клинкеров различного состава / *Л. Я. Гольдштейн* // Цемент. — 1999. — № 5/6. — С. 27–30.

13. ***Jeyalakshmi, R.*** Geopolymer: Portlandcement free binder system from industrial wastesans / *R. Jeyalakshmi, M. Dhinesh, B. S. Raj, N. P. Rajamane* // Int. J. ChemTech Res. — 2015. — Vol. 7, № 7. — P. 2846–2854. URL: http://sphinxsai.com/2015/ch_vol7_no7_ICEWEST/1/(2846-2854)%20V7N7.pdf (дата обращения: 31.08.2018).

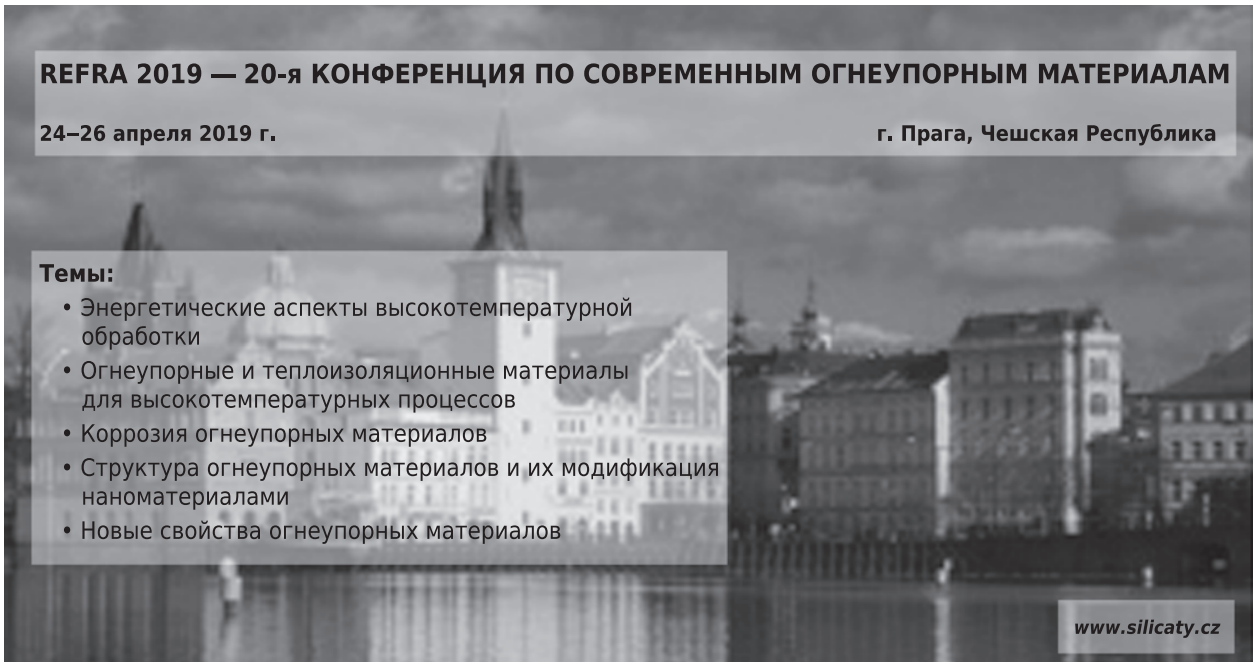
14. ***Shi, C.*** New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement / *C. Shi, A. F. Jiménez, A. Palomo* // Cem. Concr. Res. — 2011. — Vol. 41, № 7. — P. 750–763. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.016.

15. ***McLellan, B. C.*** Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement / *B. C. McLellan, R. P. Williams, J. Lay* [et al.] // Journal of Cleaner Production. — 2011. — Vol. 19, № 9/10. — P. 1080–1090. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.02.010.

16. ***Goldstein, L. Ya.*** Enerqy-saving technoloqy of cement production by means of combined grinding of clinkers of variable compositions / *L. Ya. Goldstein* // 10th International Congress on the Chemistry of Cement, Gothenburg, Sweden, June 2–6, 1997 : proceedings ; ed by H. Justnes. — Gothenburg : Amarkai, 1997. — Vol. 1. — li013.

17. ***Энтин, З. Б.*** Многокомпонентные цементы / *З. Б. Энтин* // Международное совещание по химии и технологии цемента. — 2000. — Т. 1. — С. 94–109. ■

Получено 31.08.18

© Т. М. Худякова, А. С. Колесников, Б. Е. Жакипбаев, Г. С. Кенжибаева, А. Н. Кутжанова, Г. М. Изтлеуов, Н. Н. Жаникулов, О. Г. Колесникова, Е. Мынбаева, 2019 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ