

doi: 10.5862/MCE.59.7

Влияние добавок глинитов в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня

The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone

*Канд. техн. наук, старший преподаватель
А.Р. Гайфуллин,
д-р техн. наук, профессор Р.З. Рахимов,
д-р техн. наук, профессор Н.Р. Рахимова,
Казанский государственный архитектурно-
строительный университет, г. Казань,
Россия*

*A.R. Gaifullin,
R.Z. Rakhimov,
N.R. Rakhimova,
Kazan State University of Architecture and
Engineering, Kazan, Russia*

Ключевые слова: глинит; глина; обжиг; минеральный состав; температура обжига; портландцемент; добавки к бетону; цементный камень; прочность при сжатии

Key words: glinite; clay; calcination; mineral composition; calcination temperature; Portland cement; concrete additive; cement stone; compressive strength

Аннотация. Введение минеральных добавок в портландцемент является одним из актуальных направлений решения проблем ресурсо- и энергосбережения, а также охраны окружающей среды при производстве и применении строительных материалов. Расширение сырьевой базы минеральных добавок может быть достигнуто за счет использования натуральных пуццоланов и термоактивированных повсеместно распространенных полиминеральных глин. В статье приведены результаты сравнительных исследований влияния добавления в портландцемент полиминеральных глин, обожженных при различных температурах, разной крупности помола, с различным содержанием каолинита и полным его отсутствием, и высококачественного метакАОлина на прочность цементного камня. Показано, что на основе термоактивации распространенных полиминеральных глин и последующего их помола могут быть получены пуццоланы, не уступающие по активности метакАОлину.

Abstract. The introduction of mineral additives to binders, especially to Portland cement, is one of the promising trends for solving the resource and energy saving problems, as well as problems of environmental protection during production and application. Expanding the supplementary cementitious materials resource base can be achieved through the use of natural pozzolans and thermally activated polymineral clays (commonly known as glinites in Russia). One type of glinite is metakaolin, which is obtained by calcination of kaolin clays. Metakaolin is widely and effectively used as a pozzolanic additive due to its beneficial effect on the physical and mechanical properties of Portland cement-based materials. The obstacle to its wide production and use are the limited deposits of pure kaolin clays in many countries, including the Russian Federation. In this respect, the studies of pozzolanic activity of the most common mineral clays and their use in some countries have significantly advanced. Similar studies were widely performed in the 1940s in USSR. It seems reasonable to renew this trend to provide a scientific base for the production of local pozzolans made of clays commonly used in different regions. Comparative studies of the effect of 5 clays differing in mineral and chemical composition, calcination temperature and specific surface area, and high-quality metakaolin, on the strength of hardened Portland cement paste have been performed. It has been established that introducing 5...10 % of composite clays calcined at 400...8000 C° and milled to a specific surface area of 290...800 m²/kg into Portland cement enhanced the strength of the hardened cement paste considerably better than the introduction of metakaolin with a specific surface area of 1200 m²/kg. The findings of the study suggest that many kinds of commonly used polymineral clays have a specific calcination temperature and dispersity, which results in a higher pozzolanic activity compared with metakaolin.

Введение

Наполнители из глинистых материалов широко применяются во многих отраслях, в частности, при производстве бумаги, красок, клеев, керамики, резины, линолеума, вяжущих веществ и композиционных материалов [1]. Еще более полувека назад американский исследователь Р.Е. Грим отмечал, что, судя по тенденции развития промышленности, глины будут применяться все чаще, и что на эту проблему должна быть направлена энергия исследователей [2]. Это предложение актуально и в настоящее время, особенно для строительной отрасли и промышленности строительных материалов как наиболее материалоемких. Введение минеральных добавок в вяжущие, в частности, в портландцемент, является одним из актуальных направлений решения проблем ресурсо- и энергосбережения и экологии в производстве и применении строительных материалов [3]. Наиболее широко применяемые в настоящее время в качестве минеральных добавок доменный шлак и топливная зола доступны не во всех странах и образуются в гораздо меньших объемах, чем производится портландцемент. Поэтому расширение сырьевой базы минеральных добавок может быть достигнуто за счет использования натуральных пуццоланов и активированных глин [4].

Наполнители из прокаленных и обожженных до частичного или полного спекания глин с древних времен находят применение в качестве тонкомолотых пуццолановых добавок в цементные и известковые вяжущие и материалы и изделия на их основе [5–7].

Глины – повсеместно распространенное, доступное и дешевое сырье для получения пуццоланов. Термически активированные глины классифицируются европейским стандартом EN 197–1–2000 как искусственные пуццоланы.

Выявлено, что частичная замена цемента термоактивированной глиной значительно улучшает стойкость цементного камня к сульфатам при погружении его в 5 % раствор Na_2SO_4 [8] и является весьма эффективным для уменьшения щелочного кремнеземистого расширения [9].

Обожженные глины применяются в виде цемянки, глинита, горелых пород, аглопорита, керамзита и керамзитовой пыли [7, 10]. Глинит получают измельчением обожженных глин при температурах 600...800 °С [7, 11]. В последнее время определенное применение в качестве пуццолановой добавки для улучшения физико-технических свойств цементных композитов получила одна из разновидностей глинита – метакаолин, который представляет собой продукт термической обработки каолиновых глин с высоким содержанием минерала каолинита [12–14]. В состав качественных сортов метакаолина входит 50...55 % SiO_2 и 40...45 % Al_2O_3 [14–15]. Утверждается, что его высококачественные разновидности с минимальным содержанием примесей, как правило, превосходят микрокремнезем в отношении пуццоланической активности [16].

Выявлено положительное влияние добавок метакаолина на свойства бетонной смеси и бетона. При их использовании улучшается удобоукладываемость и повышается устойчивость к водоотделению, уменьшается расход пластифицирующей добавки, увеличивается прочность, снижаются усадочные деформации; повышаются долговечность, морозостойкость и стойкость к воздействию щелочей и кислот, в частности, серной, соляной и уксусной [13, 17–18].

Определенным препятствием для широкомасштабного производства и применения метакаолина как пуццолана является ограниченность месторождений и запасов чистых каолиновых глин во многих странах, в том числе и в России. В связи с этим в последнее десятилетие в ряде стран были проведены исследования пуццоланической активности иных термообработанных глинистых минералов и возможностей получения пуццолановых добавок из глинистого сырья с различным содержанием каолинита или полным его отсутствием, то есть повсеместно распространенных обычных глин. Применение таких прокаленных глин получает распространение в развитых странах [19]. Выявлено [20], что некоторые термоактивированные глинистые минералы повышают степень гидратации цемента в большей степени, чем каолинит. Установленные особенности активности прокаленных глинистых минералов привели в последние два десятилетия к расширению исследований пуццолановой активности различных по составам глин [5, 19–20].

В начале 40–х гг. XX века Всесоюзным научно-исследовательским институтом цемента (ВНИИЦ) были проведены масштабные и систематические исследования пуццоланической активности распространенных на территории СССР 207 разновидностей глин, среди которых были и каолиновые [9]. В числе отдельных их результатов отмечается, что все глины, подвергнутые обжигу при температуре 500...800 °С, обнаруживают пуццоланические свойства в той или иной

Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone

степени. Из 207 разновидностей глин только 24 (11 %) оказались непригодными для получения продукта с достаточной гидравлической активностью; из 12 прокаленных глин с наиболее высокой пуццолановой активностью 9 мергелистые и лишь 3 – высококаолиновые.

Учитывая вышесказанное, очевидна целесообразность возобновления исследований и разработок в этом направлении для создания научной базы организации производства пуццолановых добавок на основе местных распространенных глин с полным учетом их минерального состава во многих регионах.

Ниже приведены результаты исследований влияния добавок прокаленных и молотых полиминеральных глин различного минерального и химического состава в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня в сравнении с влиянием добавок метаксаолина.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании применялись следующие материалы.

1. Для получения глинистых были использованы полиминеральные глины различного химического и минерального составов по названиям месторождений: Ново-Орская (НОГ) и Нижне-Увельская (НУГ) в Оренбургской области, Арская (АГ), Сарай-Чекурчинская (СЧГ) и Кошцаковская (КГ) – в Республике Татарстан.

В таблицах 1 и 2 приведены химический и минеральный составы принятых при исследовании глин.

2. Метаксаолин ВМК производства ООО «Синерго» (Магнитогорск) (ТУ 572901–001–65767184–2010). Химический состав метаксаолина, в %: SiO_2 – 51.4; Al_2O_3 > 42; Fe_2O_3 – 0.8; H_2O < 0.5; п.п.п. < 1. Удельная поверхность – 1200 м²/кг.

3. Портландцемент. Для определения пуццоланической активности глинистых термоактивированных наполнителей использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ПЦ500 Д-0-Н). Химический состав цемента, масс, %: CaO – 63; SiO_2 – 20.5; Al_2O_3 – 4.5; Fe_2O_3 – 4.5; SO_3 – 3. Минералогический состав цемента: C_3S – 67.0; C_2S – 11.0; C_3A – 4.0; C_4AF – 15.0.

Показатели портландцемента: удельная поверхность – 345 м²/кг, насыпная плотность – 1300 кг/м³, нормальная густота – 26 %, начало схватывания – 2 часа 50 минут, конец схватывания – 4 часа 10 минут.

В работе применялись следующие методы исследования

1. Термоактивация глин.

Для каждой глины характерна своя оптимальная температура обжига, выше и ниже которой активность продукта падает [7]. Известно утверждение, что чем ниже температура обжига, тем выше активность глинистых материалов, так как при повышенных температурах диффузионный процесс приводит к их рекристаллизации [22].

Переход в активную форму у отдельных глинистых минералов начинается с 320...400 °С и продолжается до 800 °С [11, 23]. В связи с этим исследовалось влияние на свойства цементного камня добавок глинистых, полученных обжигом глин при температурах 400 °С, 600 °С и 800 °С.

Скорость подогрева составляла соответственно 1.7; 2.5 и 3.3 °С в минуту до температуры изотермической выдержки, которая составила 3 часа.

2. Прокаленные глины подвергались помолу в лабораторной мельнице МПЛ-1 до удельной поверхности 250, 500 и 800 м²/кг. Удельная поверхность молотых глинистых определялась с использованием прибора ПСХ-9.

3. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность цементного камня при сжатии определялась по результатам испытаний образцов размерами 2 x 2 x 2 см. Образцы изготавливались из теста нормальной густоты, которая у бездобавочного цемента составила 26 %, с 5 % добавок глинистых – 27 %, с 10 % добавок глинистых – 27.5 %. Глинистые вводились в портландцемент в количестве 5, 10, 15 и 20 %. Образцы выдерживались в течение 24 часов в нормально-влажных условиях, а затем подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму: 4 часа подогрев до 85 °С, изотермическая выдержка 6 часов, 3 часа охлаждение до 35...40 °С.

Таблица 1. Химический состав принятых при исследовании глин*

№ п/п	Разновидность глин	H ₂ O	Содержание в % на абсолютную сухую навеску												
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃ /S	ппп	сумма
1	НОГ	0.81	69.18	1.36	19.55	1.32	0.01	0.20	0.42	<0.3	0.92	0.10	<0.05	6.63	99.69
2	НУГ	0.66	66.79	0.98	20.71	1.63	0.04	0.62	0.41	<0.3	0.65	0.08	0.13	7.70	99.73
3	АГ	1.05	73.65	1.47	15.37	2.23	0.01	0.28	0.50	<0.3	0.55	<0.03	<0.05	5.63	99.67
4	СЧГ	3.41	68.52	0.86	13.42	6.18	0.10	1.33	1.66	1.20	1.82	0.09	<0.05	4.62	99.80
5	КГ	4.14	64.50	0.88	13.96	7.30	0.10	2.16	2.18	0.98	1.97	0.11	<0.05	5.66	99.80

*Количественный химический состав глин определялся с использованием ARL OPTYMIX – спектрометра

Таблица 2. Минеральный состав принятых при исследовании глин*

№ п/п	Разновидность глин	Минеральный состав в %							
		Кварц	Каолинит	Иллит	Слюда	Ортоклаз	Плагиоклаз	Смешанно-слоистый глинистый минерал	Хлорит
1	НОГ	41	51	8	-	-	-	-	-
2	НУГ	33	62	-	4	-	1	-	-
3	АГ	47	40	13	-	-	-	-	-
4	СЧГ	28	-	-	10	7	8	40	4
5	КГ	34	-	-	-	5	14	40	1

*В структуре иллита до 10 % разбухающих слоев; смешанно-слоистый разбухающий минерал с содержанием неразбухающих слоев в СЧГ до 40 %, в КГ до 20 %. Расчет приведен на 100 % кристаллической фазы без учета возможного содержания рентгеноаморфной составляющей. Рентгенофазовый анализ глин проведен с использованием дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker.

Результаты исследований и их анализ

В таблицах 3–5 приведены результаты исследований изменения прочности при сжатии цементного камня в зависимости от содержания добавок метаксаолина и прокаленных при температурах 400 °С, 600 °С и 800 °С и молотых до удельных поверхностей 250 м²/кг, 500 м²/кг и 800 м²/кг глин, отличающихся химическим и минеральным составом.

По данным, приведенным на рисунке 1, прочность при сжатии цементного камня в МПа и в процентах по отношению к прочности бездобавочного цемента при содержании добавки метаксаолина в % по массе составила соответственно: 0 % – 57.3; 5 % – 74.0 (+29.1 %); 10 % – 62.9 (+9.8 %); 15 % – 52.3 (-8.7 %); 20 % – 50.7 (-11.5 %).

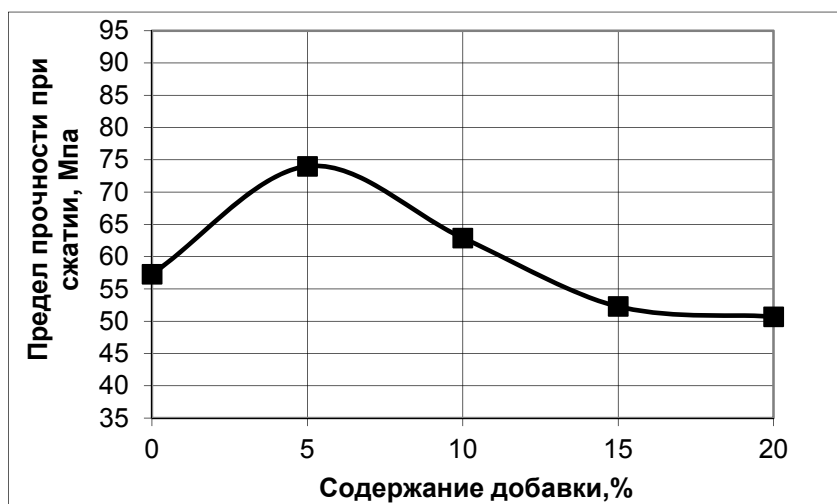


Рисунок 1. Зависимость прочности при сжатии цементного камня с добавками метаксаолина

Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone

Таблица 3. Прочность при сжатии цементного камня с добавками прокаленных и молотых до удельной поверхности 250 м²/кг глин

№ п/п	% добавки	Т прокаливания, °С	С добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	2	3	4	5	6	7	8
			Предел прочности при сжатии МПа / % изменения прочности по сравнению с прочностью бездобавочного цементного камня				
1	-	-	57.3	57.3	57.3	57.3	57.3
2	5	400	69.0/+20	68.0/+19	61.4/+7	83.2/+42	72.3/+26
3	10		59.7/+4	70.9/+24	60.0/+5	79.0/+38	73.1/+26
4	15		51.0/-11	59.4/+4	53.6/-6	70.1/+22	72.9/+27
5	20		41.1/-28	46.4/-19	42.3/-25	64.1/+12	72.2/+26
6	5	600	76.0/+33	81.5/+42	77.5/+35	64.5/+13	75.1/+31
7	10		67.5/+18	87.6/+53	70.0/+22	63.5/+11	77.6/+35
8	15		58.0/+1	78.6/+37	58.3/+2	60.1/+5	76.9/+34
9	20		50.0/-13	66.6/+16	42.0/-27	56.1/-2	76.2/+33
10	5	800	80.5/+40	72.3/+26	48.1/-16	74.1/+29	58.5/+2
11	10		74.2/+30	76.5/+33	45.3/-21	70.5/+23	57.5/+0
12	15		63.5/+11	69.2/+21	44.8/-22	66.1/+15	57.1/-0
13	20		55.5/-3	55.8/-3	42.6/-26	60.1/+5	56.7/-1

Таблица 4. Прочность при сжатии цементного камня с добавками прокаленных и молотых до удельной поверхности 500 м²/кг глин

№ п/п	%, добавки	Т прокаливания, °С	С добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	2	3	4	5	6	7	8
			Предел прочности при сжатии МПа / % изменения прочности по сравнению с прочностью бездобавочного цементного камня				
1	-	-	57.3	57.3	57.3	57.3	57.3
2	5	400	58.0/+1	64.2/+12	70.6/+23	75.5/+32	71.8/+25
3	10		53.0/-8	58.1/+1	62.8/+10	65.5/+14	64.8/+13
4	15		45.0/-21	52.3/-9	57.0/-1	55.5/-3	56.1/-2
5	20		40.0/-30	52.3/-9	53.7/-6	48.3/-16	52.2/-9
6	5	600	64.2/+12	70.3/+23	90.3/+58	84.1/+47	82.5/+44
7	10		58.0/+1	64.3/+12	80.4/+40	73.1/+26	73.3/+28
8	15		53.0/-8	57.7/+1	70.7/+23	63.1/+10	65.1/+14
9	20		48.0/-16	56.9/-1	69.1/+21	55.1/-4	58.1/+1
10	5	800	90.0/+57	92.3/+61	86.8/+51	94.1/+64	61.1/+7
11	10		78.0/+36	82.1/+43	71.9/+25	86.1/+50	61.2/+7
12	15		64.3/+12	64.4/+12	63.3/+10	74.1/+29	53.3/-7
13	20		55.5/-3	62.8/+10	60.2/+5	65.2/+14	50.3/-12

Таблица 5. Прочность при сжатии цементного камня с добавками прокаленных и молотых до удельной поверхности 800 м²/кг глин

№ п/п	%, добавки	Т прокаливания, °С	С добавками прокаленных глин				
			НОГ	НУГ	АГ	СЧГ	КГ
1	2	3	4	5	6	7	8
			Предел прочности при сжатии МПа / % изменения прочности по сравнению с прочностью бездобавочного цементного камня				
1	-	-	57.3	57.3	57.3	57.3	57.3
2	5	400	56.0/-2	64.9/+13	74.6/+30	84.7/+48	60.6/+6
3	10		52.5/-8	56.3/-2	75.2/+31	75.5/+31	56.6/-1
4	15		44.5/-22	49.7/-13	62.0/+8	63.6/+11	52.2/-9
5	20		37.5/-35	46.3/-19	54.0/-6	52.1/-9	51.1/-11
6	5		60.0/+5	70.3/+23	60.6/+6	67.1/+17	79.5/+39
7	10	600	58.0/+1	69.1/+21	59.6/+4	62.1/+8	66.6/+16
8	15		49.0/-15	57.6/+1	51.2/-11	52.3/-9	59.9/+5
9	20		42.0/-27	53.7/-7	44.9/-22	45.3/-21	55.5/-3
10	5	800	68.0/+19	66.8/+17	65.9/+15	94.6/+65	65.3/+14
11	10		64.5/+13	63.8/+11	64.0/+12	84.1/+47	60.0/+5
12	15		55.5/-3	53.4/-7	54.2/-5	68.1/-19	55.5/-3
13	20		45.5/-21	49.2/-14	48.0/-16	55.2/-4	51.1/-11

Анализ приведенных в таблицах 3–5 данных позволяет сделать следующие выводы. Из 180 разновидностей по содержанию добавок в портландцемент глинистов, полученных при обжиге при различных температурах и молотых до различных удельных поверхностей 5 разновидностей полиминеральных глин, 119 (66.1 %) обеспечили получение цементного камня с прочностью при сжатии, повышенной от долей процента до 65 % по сравнению с прочностью бездобавочного цементного камня; 108 (60 %) обеспечили получение цементного камня с прочностью при сжатии, превышающей от долей процента до 36 % прочность цементного камня с добавками 5...20 % метаксаолина.

У более чем 90 % разновидностей цементного камня с добавками 5...10 % глинистов прочность при сжатии превышает показатели бездобавочного цементного камня. Прочность такого камня выше прочности цементного камня с аналогичными по содержанию добавками метаксаолина у 53.3 % разновидностей образцов.

Образцы цементного камня с добавками 5...10 % глинистов превосходят по прочности образцы с добавкой метаксаолина на 53.3 %, а с 15...20 % – на 66.7 %. Нормальная густота цементной пасты при введении всех разновидностей термоактивированных глин при добавках 15 % и 20 % составила соответственно 27.0 % и 27.5 %.

По количеству разновидностей цементного камня с добавками глинистов на основе глины, превышающих по прочности при сжатии прочность, бездобавочного цементного камня, образцы расположились в ряд по убывающей: СЧГ, НУГ, НОГ, АГ, КГ; образцы цементного камня с добавками метаксаолина – СЧГ, АГ, КГ, НУГ, НОГ.

Известно, что пуццоланическая активность обожженных и молотых глин зависит от содержания и возможного синергетического влияния их минералов: глинистых – смешанно-слоистых, иллита, каолинита, хлорита; первичных – кварца, слюд, полевых шпатов; примесей солей и оксидов – кальцита, магнезита, гипса, пирита, серного колчедана и др., которые в минимальных количествах могут присутствовать в глинах [1]. Более высокую прочность, на 32...65 % по сравнению с прочностью бездобавочного цементного камня, имеют цементные камни с отдельными добавками 5...10 % обожженных как при температуре 400 °С, так и при 600...800 °С, молотых до тонкости помола как 250 м²/кг, так и 500...800 м²/кг глин различного минерального и химического составов.

Gaifullin A.R., Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. The influence of clay additives in Portland cement on the compressive strength of the cement stone

Заключение

В мировой практике в качестве минеральной добавки к портландцементу применяется метакраолин, сырьевая база каолиновых глин для производства которого является весьма ограниченной. В связи с этим в последнее время в различных странах ведутся исследования влияния искусственных, не уступающих по активности метакраолину, пуццоланов на основе термоактивированных повсеместно распространенных обычных полиминеральных глин.

В настоящей статье приведены результаты исследований в этом направлении в части сравнения влияния добавления в портландцемент глинистых на основе полиминеральных глин и высококачественного метакраолина на прочность при сжатии цементного камня, которые привели к следующим выводам.

1. Добавки в портландцемент отдельных глинистых на основе полиминеральных глин в зависимости от температуры активации и тонкости помола приводят к более значительному повышению прочности цементного камня, чем аналогичные по содержанию добавки высококачественного метакраолина.

2. Эффективные по активности глинистые могут быть получены при температурах прокаливания 400...600 °С, в то время как метакраолины получают при температуре обжига 700...800 °С.

3. Эффективные по активности глинистые могут быть получены при тонкости помола, меньшей в пять и более раз, чем у метакраолина.

4. Продолжение и расширение исследований в данном направлении может обеспечить создание научно-экспериментального обоснования организации производств эффективных пуццоланов на основе распространенных местных полиминеральных глин во многих регионах.

Литература

1. Ramachandran V.S. (ed) *Concrete Admixtures Handbook – Properties*. New York: Science and Technology, 2nd ed. William Andrew Publishing. 1999. 964 p.
2. Crim P.E. *Clay mineralogy*. New York – London – Toronto: Mc Graw – Hill series in geology. 1953. 384 p.
3. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего // Строительные материалы. 2013. №1. С. 124–128.
4. Scrivener K.L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future // *Cement and concrete research*. 2011. №41. Pp. 651–665.
5. Витрувий М. Десять книг об архитектуре. М.: Архитектура-С, 2006. 326 с.
6. Castello L. R., Hernandez H.J.F., Scrivener K.L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials // *Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». 2011. Pp. 117.
7. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества, технология и свойства. М.: Стройиздат, 1979. 480 с.
8. Lea F.M. *The chemistry of Cement and Concrete*. Chemical Publishing Company. Inc., New York, 1971. 740 p.
9. Mehta R.K. Studies of Blended Cements Continuing Santorin Earth // *Cement and Concrete Research*. 1986. 11(4). Pp. 507–512.
10. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Состав и пуццолановые свойства керамзитовой пыли // Академия. Архитектура и строительство. 2013. №4. С. 112–116.
11. Глинистый-цемент: Сборник статей ВНИИЦ. М.-Л.: 1935. 171 с.
12. Siddigye R., Klaus I. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete // *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. №3–4. Pp. 392–400.

References

1. Ramachandran V.S. (ed) *Concrete Admixtures Handbook – Properties*. New York. Science and Technology. William Andrew Publishing. 1999. 964 p.
2. Crim P.E. *Clay mineralogy*. New York – London – Toronto. Mc Graw – Hill series in geology. 1953. 384 p.
3. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R. *Stroitelstvo i mineralnyye vyazhushchiye proshlogo, nastoyashchego i budushchego* [Building and mineral binders of past, present and future]. *Stroitel'nye Materialy*. 2013. No. 1. Pp. 124–128. (rus)
4. Scrivener K.L., Nonat A. Hydration of cementitious materials, present and future. *Cement and concrete research*. 2011. No. 41. Pp. 651–665.
5. Vitruvius M. *Desyat knig ob arkhitekture* [Ten books about architecture]. Moscow. Arkhitektura-S. 2006. 326 p. (rus)
6. Castello L. R., Hernandez H.J.F., Scrivener K.L., Antonic M. Evolution of calcined clay soils as supplementary cementitious materials. *Proceedings of a XII International Congress of the chemistry of cement*. Madrid. Instituto de Ciencias de la Construction «Eduardo torroja». 2011. Pp. 117.
7. Volzhenskiy A.V., Burov Yu.S., Kolokolnikov V.S. *Mineralnyye vyazhushchiye veshchestva, tekhnologiya i svoystva* [Mineral binding materials: technology and properties]. Moscow. Stroyizdat. 1979. 480 p. (rus)
8. Lea F.M. *The chemistry of Cement and Concrete*. Chemical Publishing Company. Inc. New York. 1971. 740 p.
9. Mehta R.K. Studies of Blended Cements Continuing Santorin Earth. *Cement and Concrete Research*. 1986. No. 11(4). Pp. 507–512.
10. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I., Gayfullin A.R. *Sostav i putstsolanovyye svoystva keramzitovoy pyli* [Composition and pozzolatic properties of haydite dust]. *Akademiya. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2013. No. 4. Pp. 112–116. (rus)
11. *Glinist-tsement. Sbornik statey VNIITs* [Glinite-cement: collection of papers of VNIITs]. 1935. 171 p. (rus)

13. Брыков А.С. Метакаолин // Цемент и его применение. 2012. №7–8. С. 36–41.
14. Badogiamics S., Kakali G., Tsvivilis S. Metacaolin as supplementary cementitious material. Optimization of kaolin to metakaolin conversion // J. Therm. Anal. Calorim. 2005. Vol. 81. №2. Pp. 457–462.
15. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillame D. [et al.] Clay content of argillites influence on cement based mortars // Applied Clay Science. 2009. Vol. 43. №3–4. Pp. 322–330.
16. Rashad A.M. Metakaolin as cements material: History, scours production and composition. A comprehensive overview. // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. Pp. 303–318.
17. Advanced Concrete Technology Constituent Materials / Eds J. Newnan, B. S. Chio. Elsevier, 2003. 280 p.
18. Concrete Construction Engineering Handbook. CRC Press, 2008. 1586 p.
19. He C., Osbaeck B., Makovicky E. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects // Cement and Concrete Research. 1995. Vol. 25. Pp. 1961–1702.
20. Ambroise J., Murat M., Pera J. Hydration reaction and hardening of calcined and related minerals: Extension of the research and general conclusions // Cement and Concrete Research. 1985. Vol. 15. Issue 2. Pp. 261–268.
21. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between Kaolinite, illite and montmorillonite // Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 41 (1). Pp. 113–122.
22. Канаев В.К. Новая технология строительной керамики. М.: Стройиздат, 1990. 264 с.
23. Langier-Kazniarowa A. Termogramy mineralow ilastych. Warchawa, 1967. 316 p.
12. Siddigye R., Klaus I. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete. *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. No. 3–4. Pp. 392–400.
13. Brykov A.S. Metakaolin [Metakaolin]. *Cement and its Applications*. 2012. No. 7–8. Pp. 36–41. (rus)
14. Badogiamics S., Kakali G., Tsvivilis S. Metacaolin as supplementary cementitious material. Optimization of kaolin to metakaolin conversion. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. Vol. 81. No. 2. Pp. 457–462.
15. Habert G., Choupay N., Escadeillas G., Guillame D. et al. Clay content of argillites influence on cement based mortars. *Applied Clay Science*. 2009. Vol. 43. No. 3–4. Pp. 322–330.
16. Rashad A.M. Metakaolin as cements material: History, scours production and composition. A comprehensive overview. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 41. Pp. 303–318.
17. *Advanced Concrete Technology Constituent Materials*. Elsevier. 2003. 280 p.
18. *Concrete Construction Engineering Handbook*. CRC Press. 2008. 1586 p.
19. He C., Osbaeck B., Makovicky E. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects. *Cement and Concrete Research*. 1995. Vol. 25. Pp. 1961–1702.
20. Ambroise J., Murat M., Pera J. Hydration reaction and hardening of calcined and related minerals: Extension of the research and general conclusions. *Cement and Concrete Research*. 1985. Vol. 15. Issue 2. Pp. 261–268.
21. Fernandez R., Martirena F., Scrivener K.L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between Kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. 2001. Vol. 41 (1). Pp. 113–122.
22. Kanayev V.K. *Novaya tekhnologiya stroitelnoy keramiki* [New technology of building ceramics]. Moscow. Stroyizdat. 1990. 264 p. (rus)
23. Langier-Kazniarowa A. *Termogramy mineralow ilastych*. Warchawa. 1967. 316 p.

Альберт Ринатович Гайфуллин,
+7(927)4447044; эл. почта: 447044@list.ru

Albert R. Gaifullin,
+7(927)4447044; 447044@list.ru

Равиль Зуфарович Рахимов,
+7(43)2380302; эл. почта: caf.str.mat@yandex.ru

Ravil Z. Rakhimov,
+7(43)2380302; caf.str.mat@yandex.ru

Наиля Равилевна Рахимова,
+7(906)3234529; эл. почта: rahimova.07@list.ru

Nailia R. Rakhimova,
+7(906)3234529; rahimova.07@list.ru

© Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., 2015