

References

1. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Stibunova N.S., Alypova I.S. Raw mix to produce wall ceramic items: pat. № 2399599. Ros. Federatsiya; zayavl. 16.02.2009; opubl. 20.09.2010. Byul. № 26. 4 s.
2. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Sobolev S.Yu., Arishin P.A., Chernykh I.V. Raw mix and technique to produce wall ceramic items: pat. № 2358952; Ros. Federatsiya; zayavl. 19.11.2007; opubl. 20.06.2009. Byul. № 17. 4 s.
3. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Stepanova M.V., Chernykh I.V., Mugaev S.A., Toporov A.A. Raw mix to produce facing ceramics: pat. № 2317275; Ros. Federatsiya; zayavl. 17.07.2006; opubl. 20.02.2008. Byul. № 5. 4 s.
4. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Kuchinsky O.V., Kuchinskaya N.V., Boeva N.V. Raw mix to produce light-coloured en-
gobe for wall ceramics: pat. № 2378224; Ros. Federatsiya; zayavl. 01.07.2008; opubl. 10.01.2010. Byul. № 1. 4 s.
5. Lokhova N.A., Ermolina N.S., Tarnovskaya A.S. Fired materials of improved durability made using anthropogenic raw material: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 80 s.
6. Lokhova N.A., Ermolina N.S., Tarnovskaya A.S. Fired materials of improved durability made using technology-related raw material: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 80 s.
7. Lokhova N.A., Vikhrev N.E. Comparative analysis of phase formation when firing ash ceramics containing mineralizers // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: BrGU, 2004. 380 s.
8. Makarova I.A., Lokhova N.A., Gura Z.I. On the issue of producing hydrated ceramics out of dispersed technology-related materials // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: BrGU, 2004. 380 s.
9. Lokhova N.A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on silica material: monogr. Bratsk: BrGU, 2009. 268 s.

УДК 666.3-127.7

Регулирование пористости керамического материала на основе пыли газоочистки производства ферросплавов и модифицированного жидкого стекла

Н.А. Лохова^a, Н.В. Боева^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^anlokhova@yandex.ru, ^bboevanatalija@rambler.ru

Статья получена 26.04.2013, принята 28.07.2013

Применение микропоризованного органосодержащего техногенного сырья – пыли газоочистки производства ферросплавов (ПППФ) в производстве стеновой керамики требует разработки способов повышения морозостойкости керамической поризованной матрицы. Это может быть достигнуто путем регулирования пористости структуры. В Братском государственном университете изучается возможность изготовления эффективного стенового керамического материала на основе ПППФ с использованием добавки высококальциевой золы-унос от сжигания бурых углей и модифицированного жидкого стекла в качестве модификатора пористой структуры. Установлено, что введение добавки золы-унос в количестве 25 % от массы ПППФ и обжиг при температуре 750 °С позволяют получить материал с минимальной открытой и максимальной условно-замкнутой пористостью, положительно влияющей на морозостойкость. Дополнительные исследования морозостойкости показали, что керамический материал на основе ПППФ выдерживает 125 циклов попеременного замораживания и оттаивания при сохранении низкой средней плотности черепка (1140 кг/м³). Проведенный теплотехнический расчет свидетельствует, что использование предлагаемого стенового керамического материала разработанного состава позволит сократить толщину стены в сопоставлении с глинистой керамикой.

Ключевые слова: микропоризованная керамика, стеновая керамика, микрокремнезем, высококальциевая зола, теплотехнический расчет.

Porosity control of ceramic material produced from gas purification dust of ferroalloys production and modified liquid glass

N.A. Lokhova^a, N.V. Boeva^b

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

^anlokhova@yandex.ru, ^bboevanatalija@rambler.ru

Received 26.04.2013, accepted 28.07.2013

The use of micro-porous industrial wastes - gas purification dust of the ferroalloy production (GPDFP) in manufacturing wall ceramics requires developing ways to increase frost resistance of the ceramic porous matrix. This can be achieved by controlling the structure porosity. The possibility of manufacturing the effective GPDFP-base wall ceramics using the high-calcium fly ash additive obtained from brown coal burning and modified liquid glass as a porous structure modifier is being studied at Bratsk State University.

It has been established that the introduction of the fly ash additive in the amount of 25% of GPDPF weight and firing at 750°C allows obtaining the material with minimum amount of open porosity and the maximum amount of conditionally closed pores that contributes to better frost resistance. Additional studies of frost resistance have shown that the GPDPF-base ceramic material withstands 125 cycles of alternating freezing and thawing while maintaining low average density of the crock (1140 kg/m³). The conducted thermotechnical calculation proves that the use of the proposed wall ceramic material of the developed composition will allow reducing the wall thickness in comparison with clay ceramics.

Keywords: micro-porous ceramics, wall ceramics, micro-silica, high-calcium ash, thermotechnical calculation.

Введение. Пористость – одно из важнейших свойств керамического материала, предопределяющее как теплозащитные характеристики и морозостойкость изделий, так и материальные затраты на строительство.

В Братском государственном университете изучается возможность изготовления пористого стенового керамического материала на основе ПГПФ и модифицированного жидкого стекла с использованием добавки высококальциевой золы-унос от сжигания бурых углей Ирша-Бородинского месторождения в качестве регулятора структуры.

Цель исследования – определение рационального расхода добавки золы-унос и температуры обжига кремнеземистого материала на основе ПГПФ для обеспечения повышенных показателей морозостойкости и максимальных теплозащитных характеристик.

Методика исследования. Рациональные расход добавки золы-унос и температура обжига при изготовлении керамических изделий на основе ПГПФ установлены с помощью математического моделирования эксперимента с использованием программы MODEL.

В качестве откликов фиксировались: средняя плотность, водопоглощение и водонасыщение по массе, открытая и условно-замкнутая пористость.

Испытания проводились на образцах – цилиндрах массой 40 г и диаметром 40 мм, изготовленных методом полусухого прессования при удельном давлении прессования 20 МПа.

В качестве жидкости затворения использовался водный раствор жидкого стекла, модифицированный ПАВ [2].

Уровни и факторы варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни и факторы варьирования

Уровень варьирования	Кодированное значение	Содержание золы-унос, % от массы ПГПФ	Температура обжига, °C
Нижний ($X_{i\min}$)	-1	15	700
Средний (X_{i0})	ГЛАВА 1. 0	ГЛАВА 2. 20	ГЛАВА 3. 750
Верхний ($X_{i\max}$)	Раздел 3.01 +1	Раздел 3.02 25	Раздел 3.03 800
Интервал варьирования	-	5	50

План математического двухфакторного эксперимента в кодированных и натуральных значениях

представлен в таблице 2, отклики эксперимента – в таблице 3.

Таблица 2

План эксперимента в кодированных и натуральных значениях

№ опыта	Кодированные значения		Натуральные значения	
	x_1	(a) x_2	(i) $X_1, \%$	1) $X_2, ^\circ C$
1	+1	+1	25	800
2	-1	+1	15	800
3	+1	-1	25	700
4	-1	-1	15	700
5	0	0	20	750
6	+1	0	25	750
7	-1	0	15	750
8	0	+1	20	800
9	0	-1	20	700

Отклики эксперимента

№	Количество золы-унос, %	Температура обжига, °C	Физико-технические свойства материала				
			Y ₁ ρ _м , г/см ³	Y ₂ В _м , мас. %	Y ₃ В _{вак} , мас. %	Пористость	
						Y ₄ открытая, %	Y ₅ условно-замкнутая, %
1	25	800	1,12	39,4	40,0	44,13	0,67
2	15	800	1,17	36,5	37,0	42,71	0,59
3	25	700	1,16	40,0	42,1	46,40	2,44
4	15	700	1,11	42,8	44,0	47,51	1,33
5	20	750	1,14	40,8	41,1	46,51	0,34
6	25	750	1,14	40,4	41,1	46,06	0,80
7	15	750	1,16	45,9	46,1	53,24	0,23
8	20	800	1,20	37,8	38,6	45,36	0,96
9	20	700	1,10	41,8	43,9	45,98	2,31

Результаты исследования. В результате обработки экспериментальных данных получены следующие адекватные уравнения регрессии свойств керамического материала на основе ПППФ и модифицированного жидкого стекла с добавкой золы унос для кодированных значений переменных:

1) средняя плотность (ρ_м):

$$Y_1 = 1,156 - 0,004 \cdot X_1 + 0,019 \cdot X_2 - 0,005 \cdot X_1^2 - 0,011 \cdot X_2^2 - 0,023 \cdot X_1 \cdot X_2$$

2) водопоглощение по массе (В_м):

$$Y_2 = 41,9 - 0,9 \cdot X_1 - 1,817 \cdot X_2 + 0,7 \cdot X_1^2 - 2,65 \cdot X_2^2 + 1,425 \cdot X_1 \cdot X_2$$

3) водонасыщение при вакуумировании по массе (В_{вак}):

$$Y_3 = 42,42 - 0,65 \cdot X_1 - 2,4 \cdot X_2 + 0,517 \cdot X_1^2 - 1,85 \cdot X_2^2 + 1,225 \cdot X_1 \cdot X_2$$

4) открытая пористость (Π_{откр}):

$$Y_4 = 48,34 - 1,145 \cdot X_1 - 1,115 \cdot X_2 + 0,392 \cdot X_1^2 - 3,088 \cdot X_2^2 + 0,6325 \cdot X_1 \cdot X_2$$

5) условно-замкнутая пористость (Π_{усл-зам}):

$$Y_5 = 0,586 + 0,29 \cdot X_1 - 0,64 \cdot X_2 - 0,19 \cdot X_1^2 + 0,93 \cdot X_2^2 - 0,2575 \cdot X_1 \cdot X_2$$

На рис. 1 – 4 представлены графики зависимостей физико-механических свойств предлагаемого материала от содержания добавки и температуры обжига.

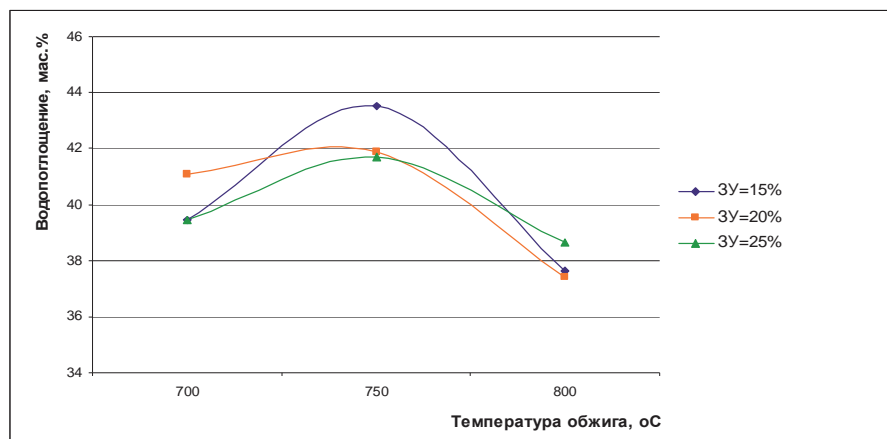


Рис. 1. Зависимость водопоглощения материала от содержания золы-унос и температуры обжига

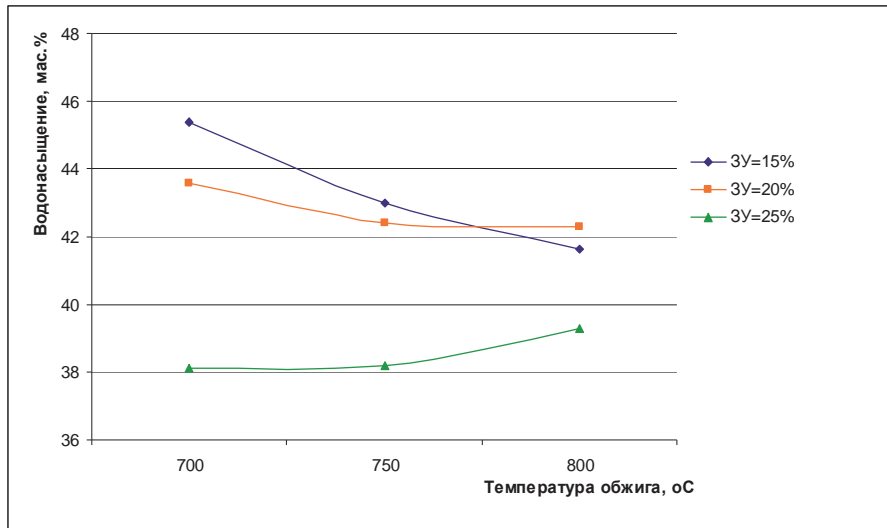


Рис. 2. Зависимость водонасыщения материала от содержания золы-унос и температуры обжига

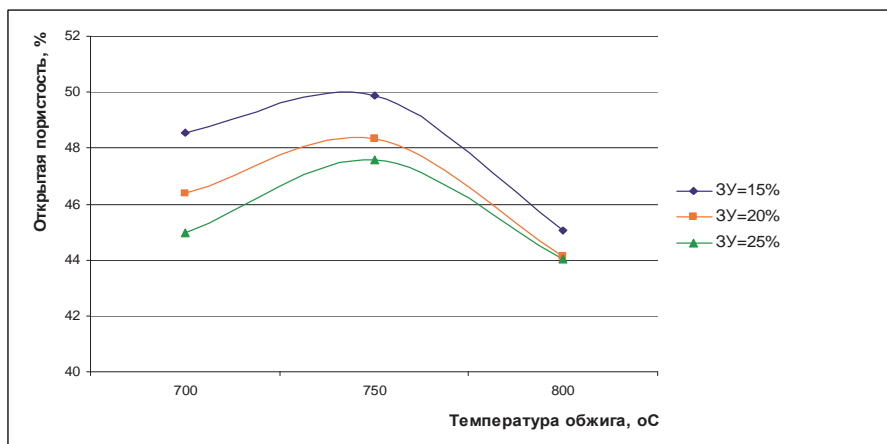


Рис. 3. Зависимость открытой пористости от содержания золы-унос и температуры обжига

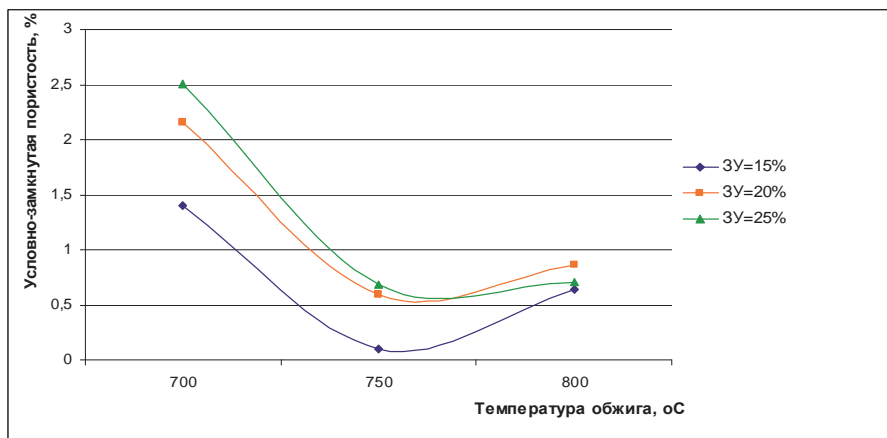


Рис. 4. Зависимость условно-замкнутой пористости от содержания золы-унос и температуры обжига

Установлено, что пористость материала существенно зависит от количества добавки золы-унос и температуры обжига. При температуре 750 °С завершается выгорание графитизированных органических примесей ПППФ и золы-унос, при этом возрастают открытая пористость и водопоглощение, однако с ростом содержания золы-унос до 25 % наблюдается плавное увеличение условно-замкнутой пористости вследствие тормо-

жения процесса избыточной кристобалитизации. Последние явления характерны для кремнеземистых материалов на основе ПППФ и жидкого стекла без добавки золы-унос при температуре обжига выше 700 °С.

Введение добавки золы-унос в количестве 25 % от массы ПППФ и обжиг при температуре 750°С позволяют получить материал с минимальной открытой и максимальной условно-замкнутой пористо-

стью, что положительно влияет на морозостойкость материала (рис. 3 и 4).

Дополнительные исследования морозостойкости показали, что керамический материал на основе ПППФ выдерживает 125 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Развитое поровое пространство в материале образуется при выгорании органических примесей в сырье, дегидратации гидратных фаз сырца, удалении свободной и адсорбционной влаги, а так же исходной микропористости частиц ПППФ и золы-уноса [1]. Это приводит к формированию черепка пониженной плотности с улучшенными теплотехническими характеристиками (класс 1,2) согласно ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

Теплофизический расчет ограждающих конструкций производится в соответствии с нормами строительной теплотехники и с учетом климатических характеристик заданного района строительства.

Расчет теплозащитных характеристик ограждающих конструкций зданий выполнен в соответствии с требованиями и по методикам, изложенным в СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» и СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Расчетные параметры окружающей среды для различных регионов принимаются по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций определяется, исходя из необходимости соблюдения санитарно-гигиенических требований, условий комфортности и требований энергосбережения.

Термическое сопротивление отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R = \delta / \lambda, \quad (1)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°С).

Необходимый уровень теплозащиты наружных ограждений зданий определяется требованиями СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» в зависимости от числа градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для каждого региона.

Для Братска приведенное сопротивление теплопередаче R_0 ограждающих конструкций для жилых зданий должно быть не менее 3,9 м²·°С/Вт, для общественных зданий – не менее 3,04 (м²·°С/Вт).

Определение толщины однородной ограждающей стены. Фактическое сопротивление теплопередаче однородных ограждающих конструкций R_0 , (м²·°С)/Вт, следует выполнять по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_e} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый по таблице 4 СНиП II-3-79; α_n – коэффициент теплопередачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый по таблице 6 СНиП II-3-79*; R_k – термическое сопротивление ограждения, (м²·°С)/Вт, для однородных конструкций определяемое по формуле (1).

Приравняв значения требуемого и фактического сопротивлений теплопередаче, определим искомую толщину для кладки определенного вида материала в жилом здании:

$$3,9 = \frac{1}{8,7} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{23}$$

$$\delta = \left(3,9 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot \lambda .$$

Была рассчитана толщина кладки ограждающей стены из традиционных и предлагаемого материала. Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4

Толщина ограждающей стены из различных стеновых материалов

Стеновой материал кладки	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		Толщина δ , м
		в сухом состоянии	в условиях эксплуатации	
Кирпич глиняный полнотелый ООО «Братский кирпичный завод»	1890	0,56	0,65	2,43
Кирпич глиняный пустотелый [3]	1250	0,28	0,47	1,76
Блоки из ячеистого бетона	600-800	0,14-0,21	0,26-0,37	1,0-1,38
Древесина (поперек волокон)	500	0,09	0,18	0,67
Керамический кирпич полнотелый	1150	0,28	0,50	1,87

Как видно из таблицы 4, однородная стена с использованием керамического камня на основе ПППФ позволяет существенно уменьшить толщину кирпичной кладки, что позволяет снизить расход материалов и нагрузку на фундамент, следовательно, сократить стоимость строительства.

Определение толщины кирпичной кладки в слоистой конструкции наружной стены. В настоящее время в строительстве широкое распространение получила так называемая слоистая кладка, состоящая из нескольких слоев различных строительных материалов, в том числе кирпичной кладки.

Теплотехнический расчет сопротивления теплопередачи R , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), был произведен для следующей конструкции наружной стены:

– вентилируемый фасад;

– утеплитель (минеральная плита) 90 мм;
– кирпичная кладка (полнотелый кирпич);
– штукатурка из сложного раствора, 20 мм.
Конструкция стены представлена на рис. 5.

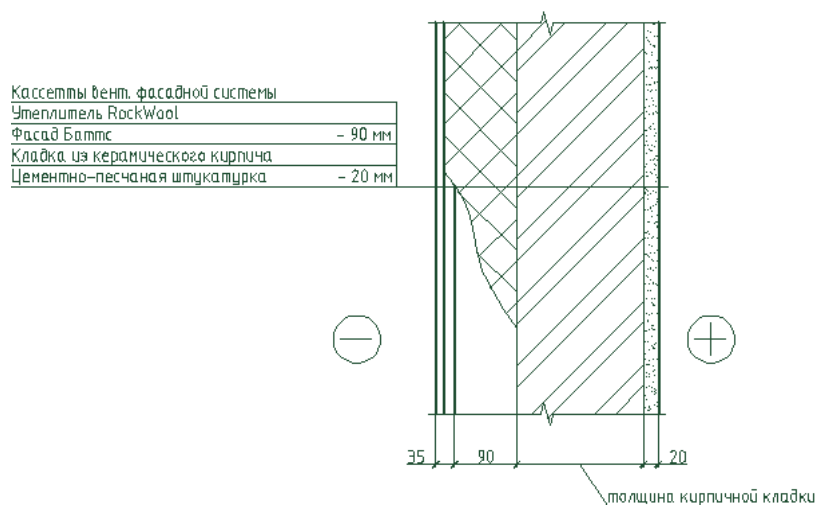


Рис. 5. Слоистая конструкция наружной стены здания

В качестве нормативного значения принято значение теплопередачи для общественных зданий (для г. Братска – $R = 3,04$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)).

В соответствии с проведенными расчетами нормативное значение достигается при толщине кирпичной кладки 420 мм при использовании полнотелого керамического кирпича, произведенного ООО «Братский керамический завод», и 320 мм из полнотелого кирпича на основе ПГПФ.

Выводы

Таким образом, использование в кладке кирпича из разработанного состава позволит существенно уменьшить толщину стены, снизить вес ограждающих конструкций и сократить расход основных стройматериалов. Учитывая размеры кирпича, толщина кирпичной кладки может быть уменьшена с 510 мм до 380 мм.

Введение добавки высококальциевой золы-унос в качестве регулятора структуры в количестве 25 % от массы ПГПФ при температуре обжига 750 °С обеспечивает сокращение открытой и роста условно-замкнутой пористости кремнеземистого черепка. Морозостойкость материала при этом повышается до 125 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Толщина кирпичной кладки из предлагаемого материала на 25 % ниже, чем из полнотелого кирпича, произведенного ООО «Братский керамический завод».

Литература

1. Лохова Н.А., Макарова И.А., Патраманская С.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: моногр. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.
2. Лохова Н.А., Ермолина Н.С., Тарновская А.С. Обжиговые строительные материалы повышенной долговечности с использованием техногенного сырья: моногр. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 80 с.
3. Славина А.М. Обжиговые строительные материалы на техногенном сырье с улучшенными теплозащитными свойствами // Изв. С.-Петерб. гос. ун-та путей сообщения. 2009. Вып. 3. С. 197-207.

References

1. Likhova N.A., Makarova I.A., Patramanskaya S.V. Fired materials based on silica fume: monogr. Bratsk: BrGTU, 2002. 163 s.
2. Likhova N.A., Ermolina N.S., Tarnovskaya A.S. Fired materials of improved durability made using anthropogenic raw material: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 80 s.
3. Slavina A.M. Fired construction materials made of technogenic materials with improved heat-shielding properties // Izv. S.-Peterb. gos. un-ta putey soobshcheniya. 2009. Vyp. 3. S. 197-207.