



УДК 691.33

Макаренко Сергей Викторович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: makarenko_83_07@mail.ru

Васильев Константин Олегович

аспирант

E-mail: vko25@bk.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Адрес организации: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

Хохряков Олег Викторович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: olvik@list.ru

Хозин Вадим Григорьевич

доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Производство зольной строительной керамики
на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области –
пример наилучшей доступной технологии их утилизации**

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является оценка возможности и эффективности применения золошлаковых отходов Иркутской области в технологии производства зольной керамики на примере отвала Ново-Зиминской ТЭЦ.

Результаты. Методом рентгеноструктурного анализа определен структурный состав золы. С помощью метода математического планирования установлены оптимальные технологические показатели и определены основные физико-механические характеристики зольной керамики (плотность, водопоглощение, полная усадка и прочность на сжатие). Изучено изменение прочности отформованных образцов в зависимости от ряда факторов: давления прессования, процентного содержания плавня, содержания суперпластификатора, используемого для улучшения формовочной способности шихты и снижения водосодержания. Результаты работы представлены в виде уравнения регрессии и таблиц, наглядно отражающих связь прочности с вышеперечисленными факторами.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке составов зольной керамики, отвечающих требованиям действующей нормативной документации. Достигнуты хорошие технические показатели, в т.ч. по внешнему виду и качеству поверхности, что позволит использовать зольную керамику для выпуска облицовочных изделий. Определен оптимум технологических показателей (давления прессования, содержания плавня и суперпластификатора) и оценено их влияние на прочность при сжатии.

Ключевые слова: зольная керамика, золошлаковый отвал ТЭЦ, суперпластификатор, прочность.

Для цитирования: Макаренко С. В., Васильев К. О., Хохряков О. В., Хозин В. Г. Производство зольной строительной керамики на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области – пример наилучшей доступной технологии их утилизации // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 54–61.

1. Введение

На территории Иркутской области, как и во многих других регионах Российской Федерации, имеются значительные накопления золошлаковых отходов (ЗШО) [1]. Сегодня действует более 170 ТЭЦ, которые работают на угольном топливе и имеют колоссальные залежи золошлакоотвалов. Общее накопление этих отходов достигает порядка 1,5 млрд

тонн по всей России, а в Иркутской области – более 90 млн тонн. При этом утилизируется и применяется всего 1,5-2,1 млн тонн годового выхода. По данным ЗАО «АПБЭ», площадь, занимаемая отвалами, составляет порядка 28 тыс. га [2-4]. Если в ближайшее время ситуация кардинально не поменяется, то уже к 2025 г. объём накопленных отходов превысит 1,8 млрд тонн. В ближайшие годы (по прогнозам ряда экспертов около 3-5 лет) переполнение золошлакоотвалов приобретёт угрожающий характер. Возникает опасность ограничения мощности угольных генераций и вывода их из энергетического баланса [5]. На основании инвестиционного паспорта Иркутской области, который, в свою очередь, учитывает количество местных региональных месторождений угля и технологические особенности действующих ТЭЦ, а также постоянный рост потребления тепловой энергии, прогнозировать сокращение образования ЗШО на территории Иркутской области не приходится. Если в прошлом веке при строительстве ТЭЦ наличие отвалов было технологически обосновано, а в ряде случаев и экономически целесообразно, то в XXI веке это не так. Необходимо изыскивать более современные и экономически оправданные проекты модернизации теплоэнергетики, в частности, в рамках стратегии наилучших доступных технологий [6-8].

Для решения возникшей проблемы профильное министерство Иркутской области разработало и утвердило новую стратегию развития промышленности строительных материалов, целью которой является широкомасштабное использование местного сырья и утилизация крупнотоннажных отходов. На наш взгляд, наиболее перспективным направлением, отвечающим принятой стратегии развития, а также Национальному проекту «Экология», является исследование по получению керамического строительного материала на основе ЗШО местных отвалов. Задачей исследования явилась оптимизация технологических показателей его получения и определение основных физико-механических характеристик.

2. Материалы и методы

В работе был изучен золошлаковый отход (далее зола) с отвала Ново-Зиминской ТЭЦ с удельной поверхностью $1800 \pm 100 \text{ см}^2/\text{г}$, который высушивали до постоянной массы и домалывали в вибрационно-шаровой мельнице СВМ-3 до удельной поверхности $2500 \pm 100 \text{ см}^2/\text{г}$. Насыпная плотность золы в исходном состоянии – $0,7 \text{ г}/\text{см}^3$, истинная плотность – $2,08 \text{ г}/\text{см}^3$ [9].

Минералогический состав золы определяли методами рентгенофлуоресцентного и полного силикатного анализа на спектрометре S4 Pioneer. Количественный фазовый анализ золы проводили с помощью внутреннего эталона, в качестве которого использован корунд. Каждую пробу золы «снимали» трижды с перенабивкой кюветы. Расчеты выполняли в программе TOPAS4. Удельную поверхность определяли с помощью ПСХ-12.

В качестве плавня применяли NaCl – тип «ЧДА» (содержание NaCl не менее 99 %). Для улучшения формования шихты использовали суперпластификатор СП-1 (ОАО «Полипласт») – продукт смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы.

Для формования образцов готовили шихту зола:плавень:суперпластификатор в соответствии с матрицей планирования [10-12]. Из шихты изготавливали сырцы в виде образцов цилиндрической формы, диаметром и высотой 50 мм, при давлении прессования 20 и 30 МПа [13]. Образцы подвергали обжигу при температуре $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре в течение двух часов [14, 15].

Стандартными методами оценивали следующие характеристики: плотность, водопоглощение, полную усадку и прочность на сжатие образца-сырца и зольного черепка [16-18].

Комплексная оценка влияния вышеуказанных факторов на прочность зольного черепка была выполнена с помощью метода математического планирования. Он представлял собой 2-х уровневый 3-х факторный эксперимент (2^3). Факторы и интервал варьирования показаны в табл. 1, матрица планирования – табл. 2. Постоянными факторами для всех составов приняты формовочная влажность шихты 10 % и удельная

поверхность золы $S=2500 \text{ см}^2/\text{г}$. Режим обжига с наибольшей температурой $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ показан на рис. 1.

Таблица 1

Факторы и интервал варьирования

| Факторы | Уровень фактора | | | Интервал варьирования |
|--|-----------------|-----|-----|-----------------------|
| | -1 | 0 | +1 | |
| X_1 – давление прессования, МПа | 20 | 25 | 30 | 5 |
| X_2 – содержание NaCl от массы золы, % | 0 | 0,5 | 1 | 0,5 |
| X_3 – содержание суперпластификатора СП-1 от массы золы, % | 0,5 | 1 | 1,5 | 0,5 |

Таблица 2

Матрица планирования

| № состава | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | + | - | + | + |
| 2 | + | + | + | + |
| 3 | + | - | - | + |
| 4 | + | + | - | + |
| 5 | + | - | + | - |
| 6 | + | + | + | - |
| 7 | + | - | - | - |
| 8 | + | + | - | - |

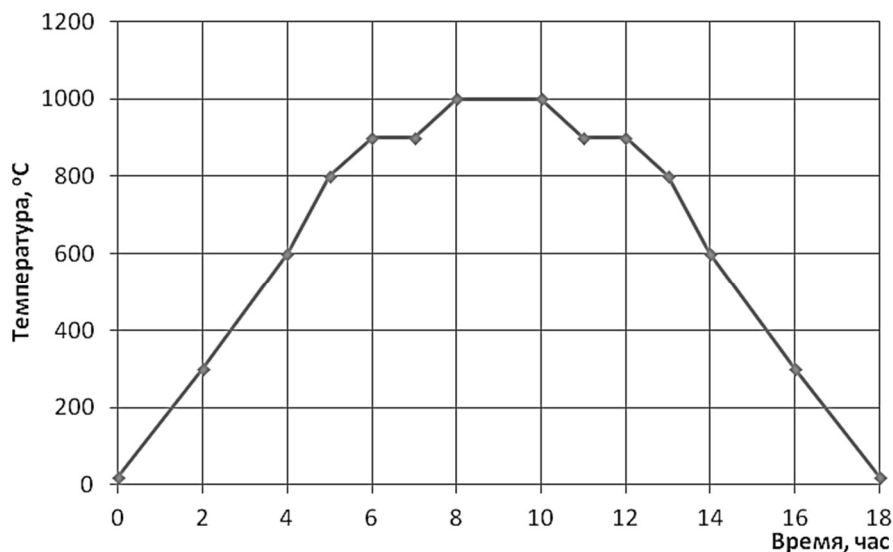


Рис. 1. Режим обжига образцов зольной керамики (иллюстрация авторов)

3. Результаты

По результатам рентгеноструктурного анализа минералогический состав золы на 49 % представлен кристаллической фазой, в которую входят 35,5 % муллита и 13,5 % кварца. Остальные 51 % представлены алюмосиликатной стеклофазой. Химический состав представлен следующими веществами (%): SiO_2 – 49 %, Al_2O_3 – 31, Fe_2O_3 (общ.) – 9,8, MgO – 1,5, CaO – 4, SO_3 – 2, п.п.п. – 2,7.

На основании матрицы планирования для каждого из восьми составов были получены значения прочности на сжатие (в МПа) зольного черепка.

Результаты показаны на рис. 2.

Технологические и физико-механические показатели образца-сырца и зольного черепка для состава № 4, который оказался наиболее прочным относительно остальных образцов, приведены в табл. 3.

Достоверность представленных результатов была получена путем расчета доверительного интервала, однородности дисперсий с помощью критериев Кохрена, проверки модели на адекватность с учетом коэффициентов Фишера (табл. 4-5).

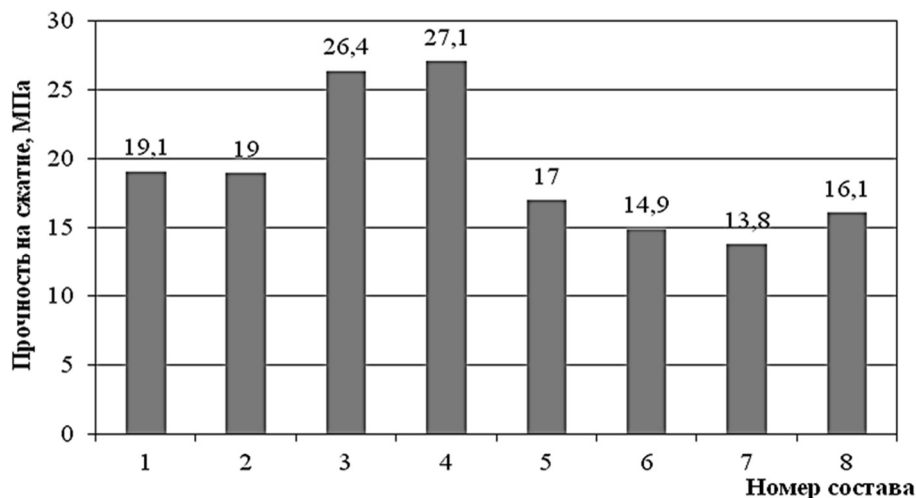


Рис. 2. Прочность на сжатие зольного черепка (иллюстрация авторов)

Таблица 3

**Технологические и физико-механические показатели
образца-сырца и зольного черепка из него**

| Наименование показателя | Ед. изм. | Значение показателя |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| Плотность образца-сырца | кг/м ³ | 1770 |
| Прочность образца-сырца | МПа | 0,9 |
| Плотность зольного черепка | кг/м ³ | 1550 |
| Прочность на сжатие зольного черепка | МПа | 27 |
| Водопоглощение зольного черепка | % по массе | 14,5 |
| Полная усадка | % | 3,6 |

Таблица 4

Значения коэффициентов Кохрена, среднего и максимального квадратичного отклонения

| Наименование показателя | Значение показателя |
|----------------------------------|---|
| $\max \hat{S}_2$ | 1,21 |
| $G_{\text{расч.}}$ | 0,2 |
| $G_{\text{табл.}}$ | 0,510 |
| Выводы об однородности дисперсии | $G_{\text{расч.}} < G_{\text{табл.}}$, значит, дисперсия однородна |
| $S_{\{\bar{y}\}}^2$ | 0,751 |

Таблица 5

Значения коэффициентов Фишера и дисперсии адекватности модели

| Наименование показателя | Значение показателя |
|--|--|
| $S_{2ад}$ | 0,85 |
| $F_{\text{набл}}$ | 1,13 |
| $F_{\text{табл}}$ | 2,38 |
| Проверка адекватности модели | модель адекватна, т.к. $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$ |
| Дисперсия коэффициента регрессии | 0,09 |
| Квадратичная ошибка коэффициента регрессии | 0,3 |
| Коэффициент Стьюдента | 2,92 |

4. Обсуждение

Как следует из рис. 2, наибольшей прочностью на сжатие обладает состав 4, на что, главным образом, повлияло высокое содержание суперпластификатора (1,5 %). Плавень не оказал заметного влияния на прочность.

На основании результатов испытаний, полученных в соответствии с методом математического планирования, было выведено уравнение регрессии для прочности при сжатии зольного черепка:

$$R_{сж} = 19,2 - 1,7X_2 + 3,7X_3 - 2,2X_2X_3. \quad (1)$$

Судя по коэффициенту $b_2=1,7$ при факторе X_2 , содержание плавня NaCl не существенно влияет на прочность зольного черепка. Влияние суперпластификатора значительней, поскольку при факторе X_3 значение коэффициента выше и составляет $b_2=3,7$. Отсутствие в уравнении фактора X_1 , указывающего на влияние давления прессования (от 20 до 30 МПа), связано с тем, что он, судя по значениям полученных коэффициентов в уравнении регрессии, не попадает в доверительный интервал и, соответственно, также не вносит ощутимого вклада в прочность зольного черепка.

Позитивное влияние на прочность оказывает парное взаимодействие факторов X_2 и X_3 , однако это возможно только в том случае, если один из них будет находиться на отрицательном уровне («-1»). При этом наилучший результат при нахождении на этом уровне даёт фактор X_2 , поскольку его максимальный суммарный вклад в значение прочности с учетом собственного и парного взаимодействия составляет около 14 % при общем суммарном вкладе совместно с X_3 равном 22 %.

Из результатов табл. 4 видно, что отформованный сырец имеет достаточно высокую прочность ($R_{сж}=0,9$ МПа), которая, очевидно, должна положительно отразиться в технологии производства изделий из зольной керамики. В частности, это касается бездефектности садки в вагонетке перед термической обработкой.

Отмечено, что после обжига на гранях образцов отсутствовали сколы, признаки шелушения, продольные или радиальные трещины. Образцы зольной керамики приобрели насыщенный темно-терракотовый оттенок, что предопределяет область ее применения для производства облицовочных изделий.

5. Заключение

1. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности производства керамических строительных изделий из зольных отвалов Ново-Зиминской ТЭЦ. Решается важная проблема по утилизации крупнотоннажных отходов и обеспечивается возможность производства конкурентоспособных керамических изделий без использования природного глинистого сырья.

2. По комплексу технологических и физико-механических свойств, а также способа получения зольная керамика отвечает ряду критериев наилучших доступных технологий: предотвращение негативного воздействия на окружающую среду, использование ресурсо- и энергосберегающих производств, технико-экономическая эффективность при внедрении и эксплуатации.

3. Показана возможность получения из золошлакового отхода с отвала Ново-Зиминской ТЭЦ керамического материала с наибольшей прочностью зольного черепка 27 МПа. Повышенные значения полной усадки (3,6 %), водопоглощения ($W=14,5$ %) и относительно небольшая плотность зольного черепка (1550 кг/м³), свидетельствуют о его высокой пористости. Очевидно, что это связано с морфологическими особенностями частиц самой золы, которая также обладает повышенной пористостью. Следовательно, стеновые конструкции, возведенные из изделий на основе зольной керамики, будут обладать большей теплосберегающей способностью и меньшим весом, что снизит нагрузку на фундамент.

Список библиографических ссылок

1. Щербаков Егор. Золошлаковая революция // Сибирский энергетик. 04.09.2015. № 33 (444). URL: <http://www.vsp.ru/2015/09/04/zoloshlakovaya-revolyutsiya-2/> (дата обращения: 29.10.2020).

2. Игумина В. А. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // Исследования молодых ученых : сб. мат. VI Междунар. науч. конф. / Молодой ученый. Казань, 2020. С. 21–25.
3. Макаров Д. В., Мелконян Р. Г., Суворова О. В., Кумарова В. А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281.
4. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2013. № 2. С. 245–249.
5. Sharma G., Mehla S. K., Bhatnagar T., Bajaj A. Possible use of fly ash in ceramic industries: an innovative method to reduce environmental pollution // International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2013. Vol. 22. P. 99–102. DOI: 10.1142/S2010194513009975.
6. Скрипникова Н. К., Юрьев И. Ю. Строительные керамические изделия на основе микродисперсных золошлаковых соединений // Вестник ТГАСУ. 2011. № 4. С. 127–131.
7. Boltakova T. M., Faseeva G. R., Nafikov R. M., Zakharov Y. A., Kabirov R. R. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of russian experience for the years 2000-2015 // Waste management. 2017. № 60. P. 230–246. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.11.008.
8. Sokolar R., Nguyen M. The fly ash of class C for ceramic technology // Materials Science and Engineering. 2018. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/385/1/012053.
9. The Effect of Mechanical Activation on the Stabilization of Ash Properties of Krasnoyarsk CHP // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 11 (7). P. 842–855.
10. Бариева Э. Р., Королев Э. А., Егорова Е. С. Моделирование состава керамической шихты с использованием золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 7-8. С. 119–122.
11. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A. Surfactants as the wall ceramics modifiers / 2nd International Conference on The Chemistry of Construction Materials. München. 2016. P. 264–266.
12. Седен Б. Р. Повышение пористости золосодержащих керамических масс // Вестник Тувинского государственного университета. 2018. № 3. С. 46–50.
13. Сергиенкова А. А., Акулова М. В. Определение необходимого давления для получения керамики с заданным коэффициентом уплотнения // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 5 (13). С. 66–69.
14. Юрьев И. Ю., Скрипникова Н. К., Волокитин О. Г. Исследование влияния модифицированных золошлаковых отходов на свойства обжиговых керамических изделий // Вестник ТГАСУ. 2013. № 4. С. 191–196.
15. Suresh Pawar A. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014. 03 (21). P. 75–80. DOI: 10.15623/ijret.2014.0321016.
16. Гусев Е. В., Сокольский А. И., Сергиенкова А. А., Родякаева Ю. А. Закономерности формирования массопроводных свойств керамических изделий на основе отходов промышленных котельных // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. Вып. 1.
17. Скрипникова Н. К., Григорьевская Д. К., Семеновых М. А. Исследование влияния зольных микросфер на свойства керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119.
18. Pires dos Santos R., Martins J., Gadelha C., Cavada B., Victor Albertini A., Arruda F., Vasconcelos Edson Teixeira M., Alves F., Lima Filho J., Freire V. Coal Fly Ash Ceramics: Preparation, Characterization, and Use in the Hydrolysis of Sucrose // The Scientific World Journal. 2014. 7 p. DOI: 10.1155/2014/154651.

Makarenko Sergey Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: makarenko_83_07@mail.ru

Vasiliev Konstantin Olegovich

post-graduate student

E-mail: vko25@bk.ru

Irkutsk National Research Technical University

The organization address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83

Khokhryakov Oleg Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: olvik@list.ru

Khozin Vadim Grigorievich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**The production of ash-based building ceramics based on ash-and-slag waste
from thermal power plants of the Irkutsk region as an example
of the best available technology for their disposal**

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to assess the possibility and efficiency of using ash and slag waste from the Irkutsk region on the example of ash and slag waste from the dump of the Novo-Ziminskaya CHP in the technology of producing ash ceramics.

Results. The chemical composition of the ash by X-ray diffraction analysis was determined. Using the method of mathematical planning, the optimal technological indicators and the main physical and mechanical characteristics of ash ceramics (density, water absorption, complete shrinkage and compressive strength) were established. The kinetics of changes in the strength of molded specimens was studied depending on several factors: compacting pressure, percentage of flux, the content of superplasticizer used to improve the forming ability of the charge and reduce the water content. The results of the work are presented in the form of a regression equation and tables that clearly reflect the relationship between strength and the above factors.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the development of ash ceramics compositions that meet the requirements of the current regulatory documentation. Good technical performance has been achieved, including its appearance and surface quality, which will allow the use of ash ceramics for the production of facing products. The optimum of technological parameters (compacting pressure, flux and superplasticizer content) and their effect on compressive strength have been determined.

Keywords: ash ceramics, ash-and-slag waste of thermal power plant, superplasticizer, strength.

For citation: Makarenko S. V., Vasiliev K. O., Khokhryakov O. V., Khozin V. G. The production of ash-based building ceramics based on ash-and-slag waste from thermal power plants of the Irkutsk region is an example of the best available technology for their disposal // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 54–61.

References

1. Shcherbakov Egor. Ash and slag revolution // Sibirskiy energetik. 09/04/2015. № 33 (444). URL: <http://www.vsp.ru/2015/09/04/zoloshlakovaya-revolyutsiya-2/> (reference date: 29.10.2020).
2. Iguminova V. A. Analysis of methods of utilization of ash and slag waste // Issledovaniya molodykh uchenykh : sb. mat. VI Mezhdunar. nauch. konf. / Molodoy ucheny. Kazan, 2020. P. 21–25.

3. Makarov D. V., Melkonyan R. G., Suvorova O. V., Kumarova V. A. Prospects for the use of industrial waste to obtain ceramic building materials // *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2016. № 5. P. 254–281.
4. Integrated use of ash and slag waste from the Tomsk region for obtaining various types of building materials // *Vestnik TGASU*. 2013. № 2. P. 245–249.
5. Sharma G., Mehla S. K., Bhatnagar T., Bajaj A. Possible use of fly ash in ceramic industries: an innovative method to reduce environmental pollution // *International Journal of Modern Physics: Conference Series*. 2013. Vol. 22. P. 99–102. DOI: 10.1142/S2010194513009975.
6. Skripnikova N. K., Yuriev I. Yu. Building ceramic products based on microdispersed ash and slag compounds // *Vestnik TGASU*. 2011. № 4. P. 127–131.
7. Boltakova T. M., Faseeva G. R., Nafikov R. M., Zakharov Y. A., Kabirov R. R. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000-2015 // *Waste management*. 2017. № 60. P. 230–246. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.11.008.
8. Sokolar R., Nguyen M. The fly ash of class C for ceramic technology // *Materials Science and Engineering*. 2018. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/385/1/012053.
9. The Effect of Mechanical Activation on the Stabilization of Ash Properties of Krasnoyarsk CHP // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2018. № 11 (7). P. 842–855.
10. Barieva E. R., Korolev E. A., Egorova E. S. Modeling the composition of the ceramic charge with the use of ash and slag waste from Kazan CHPP-2 // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. 2009. № 7-8. P. 119–122.
11. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A. Surfactants as the wall ceramics modifiers / 2nd International Conference on The Chemistry of Construction Materials. München. 2016. P. 264–266.
12. Seden B. R. Increasing the porosity of ash-containing ceramic masses // *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018. № 3. P. 46–50.
13. Sergienkova A. A., Akulova M. V. Determination of the necessary pressure for obtaining ceramics with a given compaction coefficient // *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii*. 2017. № 5 (13). P. 66–69.
14. Yuriev I. Yu., Skripnikova N. K., Volokitin O. G. Investigation of the influence of modified ash and slag waste on the properties of fired ceramic products // *Vestnik TGASU*. 2013. № 4. P. 191–196.
15. Suresh Pawar A. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash // *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014.03 (21). P. 75–80. DOI: 10.15623/ijret.2014.0321016.
16. Gusev E. V., Sokolsky A. I., Sergienkova A. A., Rodyakaeva Yu. A. Regularities of the formation of mass-transfer properties of ceramic products based on industrial boiler waste // *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2018. Iss. 1.
17. Skripnikova N. K., Grigorevskaya D. K., Semenovikh M. A. Investigation of the influence of ash microspheres on the properties of ceramic products // *Vestnik TGASU*. 2020. Vol. 22. № 2. P. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119.
18. Pires dos Santos R., Martins J., Gadelha C., Cavada B., Victor Albertini A., Arruda F., Vasconcelos Edson Teixeira M., Alves F., Lima Filho J., Freire V. Coal Fly Ash Ceramics: Preparation, Characterization, and Use in the Hydrolysis of Sucrose // *The Scientific World Journal*. 2014. 7 p. DOI: 10.1155/2014/154651.