

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРРАКОТОВОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

DEVELOPMENT OF TERRACOT CERAMIC TILES MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH USE OF TECHNOGENIC PRODUCTS OF ENERGY COMPLEX

А.С. Ковчур^{1*}, В.К. Шелег², С.Г. Ковчур¹,
А.В. Гречаников¹, П.И. Манак³, А.В. Захаренко³

¹ Витебский государственный технологический университет

² Белорусский национальный технический университет

³ ОАО «Обольский керамический завод»

УДК 691.4

А. Kauchur^{1*}, V. Sheleh², S. Kauchur¹,
A. Hrachanikau¹, P. Manak³, A. Zakharenka³

¹ Vitebsk State Technological University

² Belarusian National Technical University

³ JSC «Obolsky Ceramic Plant»

РЕФЕРАТ

ОСАДКИ ХИМВОДОПОДГОТОВКИ, ШЛАМЫ, ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ, СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ, ПЛИТКА КЕРАМИЧЕСКАЯ ТЕРРАКОТОВАЯ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Основной целью представленной работы является разработка нового состава и технологического регламента производства инновационного продукта – керамической терракотовой плитки с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ. Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт комплексного использования сырья, что одновременно приводит к ликвидации огромного экологического ущерба, оказываемого хранилищами отходов. Одно из направлений переработки техногенных продуктов энергетического комплекса – их использование в производстве строительных и отделочных материалов, что является важным резервом ресурсосбережения в строительстве. В результате проведённых исследований установ-

ABSTRACT

PRECIPITATION OF CHEMICAL WATER TREATMENT, SLIMES, COMBINED HEAT AND POWERPLANTS, DEIRONING STATIONS, CERAMIC TERRACOTTA TILE, GRAIN SIZE DISTRIBUTION

The main purpose of the work is the development of a new composition and technological regulations for the production of an innovative product – ceramic terracotta tiles using slime waste from deferrization stations and heat and power plants. Rational use of natural resources is now becoming particularly important. The solution of this current economic problem assumes development of effective waste-free technologies due to complex use of raw materials that at the same time leads to elimination of the huge ecological damage rendered by storage of waste. One of the directions of processing of technogenic products of a power complex is their use in production of construction and finishing materials, that is an important reserve of resource-saving in construction. As a result of the conducted researches the possibility of using such wastes for the production of ceramic building materials is found. The composition of the ceramic mass and the technological procedure for the production of tiles with the additive

* E-mail: askovch@tut.by (A. Kauchur)

лена возможность использования таких отходов для производства керамических строительных материалов. Разработан состав керамической массы и технологический регламент производства плитки с добавкой неорганических отходов (осадки химводоподготовки (код 8410500)), проведены гранулометрические исследования компонентов смеси. На ОАО «Обольский керамический завод» изготовлена опытно-экспериментальная партия терракотовой керамической плитки для проведения дальнейших исследований физико-химических и физико-механических показателей.

of inorganic wastes (precipitation of chemical water treatment (code 8410500)) were developed, grain size distribution test of components of the mixture was conducted. At JSC "Obolsky Ceramic Plant" a pilot experimental batch of terracotta ceramic tiles was made for further research of physical, chemical and physical-mechanical parameters.

Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт комплексного использования сырья, что одновременно приводит к ликвидации огромного экологического ущерба, обусловленного хранилищами отходов. Большинство отходов промышленного производства могут заменить природные ресурсы, а во многих случаях по своим качественным показателям являются уникальным сырьём. Годовой экономический ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления оценивается на уровне 10 % от ВВП.

Ежегодно на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и станциях обезжелезивания образуются тысячи тонн отходов, которые состоят в основном из нерастворимых оксидов, гидроксидов, карбонатов железа, кальция, магния, и являются ценным химическим сырьём. Вопрос переработки отходов, образующихся после водоподготовки на станциях обезжелезивания и ТЭЦ, в Республике Беларусь до сих пор не решён. Согласно данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, ежегодно на ТЭЦ, входящих в состава РУП «Минскэнерго», образуется 3700–3800 тонн железосодержащих отходов (Минские ТЭЦ № 3, № 4, № 5). По данным Витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды на территории области накопилось около 7000 тонн железосодержащих

отходов, имеющих 3 класс опасности. Данные о количестве железосодержащих отходов по областям Республики Беларусь: Гомельская область – 1176,89 тонн; Витебская область – 114 138,54 тонн; Минская область – 3910,54 тонн; г. Минск – 7193,85 тонн. Всего по республике – 126 419,82 тонн [1].

Одно из направлений переработки техногенных продуктов энергетического комплекса – их использование в производстве строительных и отделочных материалов, что является важным резервом ресурсосбережения в строительстве.

В настоящее время поиск современного, инновационного ассортимента продукции строительных и отделочных материалов может заинтересовать потенциального покупателя в трудных условиях сформировавшегося рынка и является сложной, но решаемой задачей. В результате проведенного мониторинга рынка отделочных материалов маркетинговой службой ОАО «Обольской керамический завод» выявлена устойчивая заинтересованность потребителей в приобретении терракотовой керамической плитки для внутренней стеновой отделки.

Керамическая плитка – изготовленное из керамической массы плоское тонкостенное глазурированное или неглазурированное изделие, применяемое для внутренней облицовки стен и стеновых панелей.

Керамическая плитка на протяжении многих лет остается очень актуальной в современном интерьере. Она устойчиво занимает лидирующие позиции в оформлении некоторых функци-

ональных зон интерьера благодаря огромному выбору вариантов. С помощью современной керамической плитки, мозаики, ковров из керамических плиток (набора плиток, наклеенных на лист бумаги, предназначенных для облегчения работ при укладке), можно создать интерьер самых разнообразных цветовых и стилистических решений. Поэтому терракотовая плитка пользуется заслуженным вниманием со стороны дизайнеров и проектировщиков, что обеспечивает ее присутствие в проектах декорирования и отделки интерьеров квартир, офисов, отелей и ресторанов.

Одним из наиболее актуальных и интересных направлений является использование терракотовой плитки в облицовке компонентов отопительных и банных систем. Терракотовая плитка является одним из лучших материалов для облицовки каминов по своим теплотехническим свойствам и привлекательности. Также она используется как экологически чистая, жаростойкая, долговечная, эстетичная облицовка для домовых печей, печей-барбекю, мангальных зон, защитных экранов в парной вокруг печи-каменки, отделки и защиты зоны топки банной печи.

Целью представленной работы является разработка нового состава и технологического

регламента производства инновационного продукта – керамической терракотовой плитки для внутренней облицовки стен и стеновых панелей с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предприятия для осуществления деятельности, связанной с воздействием на окружающую среду, на основании решений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь должны получить специальное разрешение (лицензию). Производственный цех № 2 ОАО «Обольский керамический завод» зарегистрирован в реестре № 2864 объектов по использованию отходов, согласно которому он может принимать техногенные продукты других организаций, в том числе осадки химводоподготовки (код 8410500), от станций обезжелезивания и ТЭЦ [2].

Техногенные продукты энергетического комплекса (шламовые осадки химводоподготовки) в естественном виде представляют собой влажную массу тёмно-коричневого цвета. В зависимости от времени года и места образования отходы содержат от 5 до 35 % влаги. Фазовый состав отходов представлен на рисунке 1.

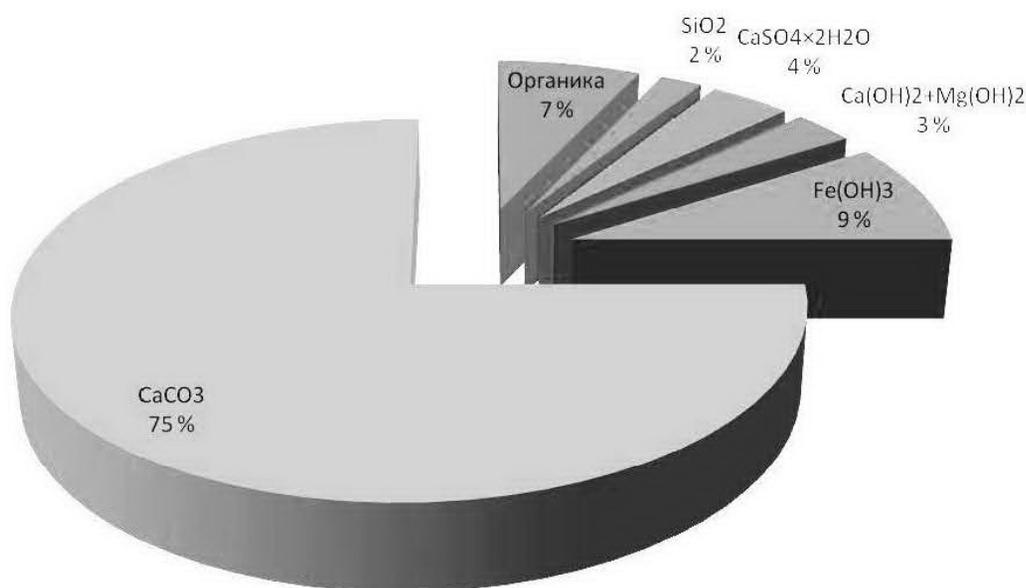


Рисунок 1 – Фазовый состав железосодержащих отходов

Несмотря на то, что в Республике Беларусь, в том числе и на разных витебских станциях подготовки воды потребителю, применяются различные технологические процессы и используются отличающиеся химическим составом коагулянты, флокулянты, осветители воды, декарбонизаторы, в предыдущих исследованиях, изучен и установлен фазовый состав техногенных продуктов энергетического комплекса. Отходы (шлам водоподготовки) имеют следующий состав, в пересчёте на сухое вещество, масс. %: $Fe_2(OH)_3$ – 12,8–14,2; SiO_2 – 41,9–44,5; $CaSO_4$ – 2,4–2,6; органические вещества – остальное. При исследовании химического состава шламов установлены возможные колебания в содержании основных соединений (%): SiO_2 – 0,5–4,9; $Fe(OH)_3$ – 5,8–10,5; $CaCO_3$ – 62,8–68,2; $CaSiO_3$ – 3,9–6,6; органические вещества – остальное. Колебания состава шлама в узком диапазоне позволяют сделать вывод о достаточной стабильности соотношений слагающих его компонентов [3, 4, 5]. При расширении географии поставок отходов (шлама водоподготовки) придется проводить дополнительные исследования, чтобы учитывать возможное варьирование химического, гранулометрического состава техногенных продуктов, и ввиду этого планируется также в проводимых исследованиях спрогнозировать и выявить устойчивое влияние на технологические, физико-химические, эксплуатационные свойства, место образования шламовых осадков химводоподготовки.

Для производства опытно-экспериментальной партии плитки керамической терракотовой был подготовлен состав керамической массы, включающий следующие компоненты смеси:

- глина порошковая;
- шамот (молотый кирпич);

– шламовые осадки химводоподготовки, в дальнейшем – отходы ХВО;

– вода.

Описание состава смеси:

– глина порошковая (карьер «Заполье») вырабатывается на башенно-распылительной сушилке (БРС) завода для изготовления кирпича методом полусухого формования, влажность 5–18 %, состав и свойства подробно описаны в научной публикации [3];

– шамот – молотый кирпич с фракцией до 5 мм, дробление производится на технологической линии завода, используется как добавка в кирпич, а также для изготовления теннисита, при изготовлении плитки используется для снятия напряжения при сушке изделия, исключаются трещины, сохраняется целостность изделия, состав и свойства подробно описаны в научной публикации [3];

– отходы ХВО представляют собой мелкозернистую порошкообразную массу темно-рыжевого цвета с коричневатым оттенком. В результате проведенных ранее исследований [3, 4, 5] изучены состав и комплексные свойства, в том числе по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов. Установлена возможность использования данного вида отходов в производстве керамических строительных материалов и изделий, подробно описано [3, 4, 5];

– применяемая техническая вода должна соответствовать требованиям технических нормативных правовых актов.

В производственной лаборатории ОАО «Обольский керамический завод» проведены исследования гранулометрического состава компонентов смеси. Результаты исследования гранулометрического состава сырья и шамота представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав сырья и шамота для изготовления керамической терракотовой плитки

Гранулометрический состав сырья (глина)	Гранулометрический состав шамота
>0,5–0,063 мм – 9,79 %	5–3 мм – 2,5–5 %
0,063–0,01 мм – 25,39 %	3–2 мм – 10–20 %
0,01–0,005 мм – 18,95 %	2–1 мм – 20–40 %
0,005–0,001 мм – 23,32 %	2–0,5 мм – 10–0,5 %
<0,001 мм – 22,55 %	0,5–0,25 мм – 5–20 %
	менее 0,25 мм – 30–14,5 %
	Величина зерен шамота не более 5 мм

Гранулометрический состав техногенного сырья – осадки химводоподготовки (код 8410500):

- 5–3 мм – 2,5–7 %;
- 3–2 мм – 10–20 %;
- 2–1 мм – 20–40 %;
- 2–0,5 мм – 0,5–10 %;
- 0,5–0,25 мм – 5–20 %;
- менее 0,25 мм – 13,5–30 %.

В результате проведенных исследований установлено, что гранулометрический состав неорганических отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ позволяет их использовать в качестве замены части компонентов сырья при производстве терракотовой керамической плитки.

Изготовление опытно-экспериментальной партии плитки терракотовой проводилось методом ручной набивки. Приготовление рабочего состава смеси для формовки приводится из расчета на 1 кг глины порошковой и представлено в таблице 2.

Глина порошковая просеивается через сетку проволочную тканую с квадратными ячейками 2-100-025 НУ по ГОСТ 3826-82 с целью исключения карбонатных включений, посторонних примесей. Для приготовления рабочего состава используется глиномешалка, куда из расчета порошковой глины засыпается и шамот, все тщательно перемешивается в сухом виде без добавления воды.

В воду добавляются отходы ХВО, смесь перемешивается и заливается в глиномешалку. Влажность рабочего состава должна составлять $19\% \pm 2\%$.

Приготовленная смесь выгружается в полипропиленовые герметичные мешки. Дозревание состава – не менее 3 суток, при этом глина окончательно «распушивается», теряя часть влаги, окончательная формовочная масса будет иметь влажность $17\% \pm 2\%$.

Для получения желаемого изделия первоначально изготавливается кап, из которого перенимается рабочая форма. Кап представляет собой образец готового изделия с учётом степени усадки глины. На процент усадки глины влияет качество глины, процент добавления шамота, температура обжига. В нашем случае усадка равна 5 %. Для изготовления капа и форм использовался гипс Самарского гипсового комбината (гипсовые вяжущие высокопрочные сепарированные марки ГВВС-16 по ТУ 21-РСФСР-153-90).

Перед работой порция глины переминается вручную для окончательного усреднения массы и удаления воздуха. Порционные куски глины закладываются в форму и прессуются руками до полного заполнения (можно прокатывать деревянной скалкой), лишнюю глину, выступающую выше краев формы, срезают длинным широким ножом. Заготовка извлекается из формы и в течение суток подвяливается на ровной поверхности стола.

Для сушки плитки используются поддоны из сетки проволочной тканой с квадратными ячейками 2-800-200 НУ по ГОСТ 3826-82, дальнейшее подсушивание происходит 48 часов на поддонах из сетки при комнатной температуре (обычно стараются выдерживать диапазон 17–21 °С) с исключением сквозняков. Затем поддоны переносятся в сушилку на стеллажи, где при температурном интервале 22–24 °С происходит окончательная сушка, остаточная влажность высушенного изделия 3 %.

Высушенные изделия загружаются в печь (мы используем печь камерного типа СНО – 8,16 5/10 ИЗ). Набор температуры 50 °С через 20 минут до температуры 960 °С. После обжига печь остывает естественным путем, дверь не открывать, охладить до 50–80 °С. Выгрузить изделия.

Таблица 2 – Весовое дозирование рабочего состава смеси

Состав	Глина порошковая	Шамот	Отходы ХВО	Вода
Состав 1	1 кг	200 г	5 % – 50 г.	170 г
Состав 2	1 кг	200 г	10 % – 100 г	190 г
Состав 3	1 кг	200 г	15 % – 150 г	210 г

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Керамическая терракотовая плитка обычно изготавливается квадратной или прямоугольной формы, с рельефной или гладкой неглазурованной, глазурованной частично или полностью поверхностью, покрыта одно- или многоцветной глазурью, или декорированной различными методами. Глазурь может быть блестящей или матовой. Предприятие-изготовитель должно устанавливать номинальную длину и ширину плиток таким образом, чтобы в пределах координационных размеров обеспечивалась ширина шва от 4 до 8 мм.

В результате проведенных исследований были определены количественные показатели химических соединений, входящих в разработанные составы. Результаты определений представлены в таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что на процесс формования тротуарной плитки оказывает влияние процент вложения отходов, их химический и зерновой состав. С увеличением процента вложения неорганических железосодержащих отходов снижается содержание SiO_2 (с 55,26 до 39,4 масс. % соответственно по составам 1, 2 и 3) и увеличивается содержание FeO (с 12,57 до 15,2 масс. % соответственно). Снижение содержания SiO_2 связано с уменьшением количества исходной глинистой породы и шамота в составе сырья. Увеличение процента вложения отходов приводит также к увеличению содержания CaO . Анализ гранулометрического состава шлама ХВО позволяют сделать вывод о том, что им можно заменить как часть исходного сырья

(глины), так и часть отощающей добавки (шамота). Влияние на процесс формования плитки зернового состава заключается в том, что мелкозернистая добавка неорганических отходов, обладающая развитой поверхностью, спекаясь с глинистой породой при обжиге, повышает прочность готовых изделий.

Варьируя составами исходного сырья можно, используя шламовые отходы станций обезжелезивания и ТЭЦ, добиваться получения плиток различных цветовых оттенков. Оттенки основного цвета плиток утверждают в виде планшетов, в которых плитки разных оттенков должны быть уложены вперемешку. Эталон на отдельный (разовый) заказ согласовывают с покупателем. По согласованию предприятия-изготовителя с покупателем могут быть изготовлены плитки разных размеров и различных цветовых решений. Цвет (оттенок цвета), рисунок или рельеф лицевой поверхности плиток должен соответствовать утвержденным образцам-эталонам.

Утвержденный образец-эталон цвета (оттенка) может быть распространен на плитки любого вида лицевой поверхности и любых размеров. Для плиток с неповторяющимся рисунком утверждают образец-эталон цвета, при этом рисунок плиток не эталонируют.

Ниже представлены фотографии из опытно-экспериментальных партий терракотовых керамических плиток различных геометрических конфигураций и типом поверхности, изготовленных с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ. На рисунке 2 представлена фотография квадратной плитки с рельефной неглазурованной поверхностью.

Таблица 3 – Количественные показатели химических соединений, входящих в рабочие составы смеси

Химические соединения состава 1, масс. %	Химические соединения состава 2, масс. %	Химические соединения состава 3, масс. %
Na_2O – 1,47; MgO – 2,26; Al_2O_3 – 14,38; SiO_2 – 48,76; K_2O – 7,31; CaO – 11,61; TiO_2 – 1,63; FeO – 12,57	Na_2O – 1,58; MgO – 2,30; Al_2O_3 – 13,64; SiO_2 – 43,50; K_2O – 7,56; CaO – 16,26; TiO_2 – 1,57; FeO – 14,66	Na_2O – 1,61; MgO – 2,33; Al_2O_3 – 12,65; SiO_2 – 39,40; K_2O – 6,56; CaO – 20,82; TiO_2 – 1,45; FeO – 15,20

Стеклянная дулевская глазурь сначала затирается губкой с разной степенью прикладывания силы в зависимости от подчеркивания желаемого эффекта декорирования. При обжиге рисунок тонируется «поднимается». Ввиду возможности получения широкого ассортимента различных эффектов декорирования обычно варианты поверхности глазурованной плитки согласовывают

с покупателем более тщательно. После окончательного согласования цветового решения и эффектов декорирования производится изготовление партии терракотовой керамической плитки в требуемом количестве согласно заказу. На рисунке 3 представлена фотография прямоугольной плитки с рельефной глазурованной поверхностью.

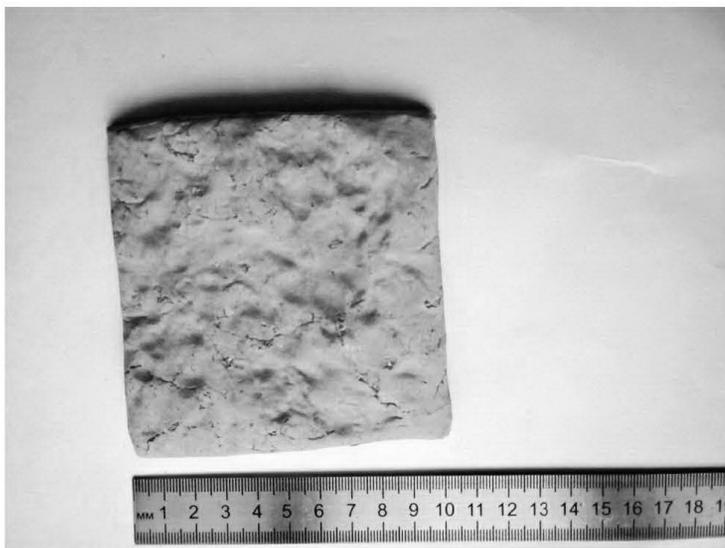


Рисунок 2 – Терракотовая керамическая плитка квадратной формы с рельефной неглазурованной поверхностью

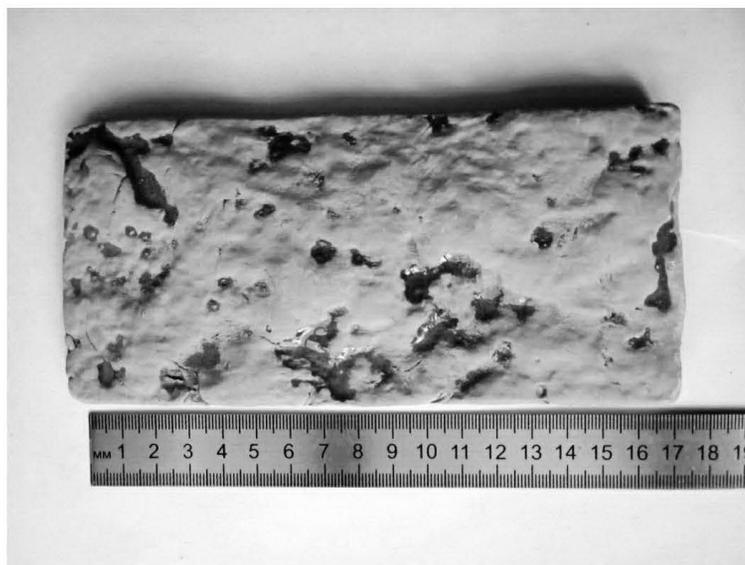


Рисунок 3 – Терракотовая керамическая плитка прямоугольной формы с рельефной глазурованной поверхностью

Проведённые предварительные исследования по замене традиционных отощающих добавок шламовыми осадками химводоподготовки показали, что при использовании этих отходов качество продукции не ухудшается. Дальнейшие исследования опытной партии терракотовой керамической плитки с добавками неорганических отходов будут проведены на испытательном комплексе ОАО «Обольский керамический завод» (морозостойкость, предел прочности, водопоглощение). Предполагается, что на основе проведенных ранее исследований для керамических изделий на примере керамического кирпича [3, 4, 5] введение в состав смеси шламовых осадков химводоподготовки будет способствовать улучшению технологических и эксплуатационных свойств керамической терракотовой плитки. В настоящее время на участке керамики ОАО «Обольский керамический завод» проводятся эксперименты по изучению возможности снижения энергозатрат, за счет снижения температуры при обжиге керамической массы.

Будут проводиться дальнейшие исследования по установлению закономерной зависимости получаемого цветового решения плитки и взаимодействия со стеклянной глазурью от добавляемого количества в керамическую смесь шламовых осадков химводоподготовки.

Результаты выполненной работы имеют практическую значимость. По результатам дальнейших исследований будут разработаны технические условия на производство плитки. Маркетинговой службой ОАО «Обольский керамический завод» проведен дополнительный мониторинг рынка строительных отделочных материалов на предмет применения этих плиток для наружной облицовки стен, стеновых панелей, цоколей зданий и сооружений.

ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлена возможность производства на основе глинистого сырья с добавкой техногенных продуктов энергетического комплекса плитки керамической терракотовой. Разработан состав керамической массы для изготовления плитки с добавкой неорганических отходов (осадки химводоподготовки (код 8410500), проведены гранулометрические исследования компонентов смеси и технологический регламент производства плитки. Установлено, что по гранулометрическому составу техногенные продукты энергетического комплекса могут использоваться в качестве добавки в составе сырья для производства плитки. Изготовлена опытно-экспериментальная партия терракотовой керамической плитки для проведения дальнейших исследований физико-химических и физико-механических показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов, В. Ф. (2016), *Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 2015 г.* Минск, 363 с.
2. <http://www.minpriroda.gov.by/ru/reestr-ru/> (дата доступа 16.10.2017).
3. Платонов, А. П., Гречаников, А. В., Ковчур, А. С., Ковчур, С. Г., Манак, П. И. (2015), Изготовления керамического кирпича с использованием промышленных отходов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*

REFERENCES

1. Loginov V. F. (2016), *Sostoyanie prirodnoy sredy Belarusi: ekologicheskiy byulleten' 2015 g.* [Condition of the environment of Belarus: ecological bulletin of 2015]. Minsk, 363 p.
2. Available at: <http://www.minpriroda.gov.by/ru/reestr-ru/> (accessed 16 October 2017).
3. Platonov, A., Hrachanikau, A., Kauchur, A., Kauchur, S., Manak, P. (2015), Izgotovleniya keramicheskogo kirpicha s ispolzovaniem promyishlennyih othodov [Manufactures of

мета, 2015, № 28, С.128–134.

4. Платонов, А. П., Трутнёв, А. А., Ковчур, С. Г., Ковчур, А. С., Манак, П. И. (2014), Керамическая масса для производства строительного кирпича, патент 18790 Республики Беларусь, *Афіцыйны бюлетэнь*, 2014, № 11 (182), С. 76.
5. Гречаников, А. В., Ковчур, А. С., Тимонов, И. А., Ковчур, С. Г. (2017), Использование железосодержащих отходов ТЭЦ и станций обезжелезивания для изготовления керамического кирпича, *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки*, 2017, № 8, С. 47–52.

a ceramic brick with use of the industrial wastes], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state technological university*, 2015, № 28, pp. 128–134.

4. Platonov, A., Trutniou, A., Kauchur, S., Kauchur, A., Manak, P. *Keramicheskaya massa dlya proizvodstva stroitel'nogo kirpicha* [Ceramic weight for production of a structural brick]. Patent RB, № 18790, 2014.
5. Hrachanikau, A., Kauchur, A., Tsimanov, I., Kauchur, S. (2017), Use of a ferriferous wastage of combined heat and power plant and stations of deferrization for manufacture of a ceramic brick, *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki – Bulletin of the Polotsk state university. Series F: Construction. Applied sciences*, 2017, № 7, pp. 47–52.

Статья поступила в редакцию 30. 10. 2017 г.