

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ КЛИНКЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ДОБАВКАМИ ОСАДКОВ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ

### STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CERAMIC CLINKER MATERIALS WITH ADDITIVES OF CHEMICAL WATER TREATMENT SLUDGE

УДК 691.4

**А.В. Гречаников<sup>1\*</sup>, А.С. Ковчур<sup>1</sup>, П.И. Манак<sup>2</sup>,  
В.К. Шелег<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Витебский государственный технологический университет

<sup>2</sup> ОАО «Обольский керамический завод»

<sup>3</sup> Белорусский национальный технический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-1-104-114>

**A. Hrachanikau<sup>1\*</sup>, A. Kovchur<sup>1</sup>, P. Manak<sup>2</sup>,  
V. Sheleh<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Vitebsk State Technological University

<sup>2</sup> Obolsky Ceramic Plant JSC

<sup>3</sup> Belarusian National Technical University

#### РЕФЕРАТ

*КЛИНКЕР, КЛИНКЕРНАЯ ТРОТУАРНАЯ ПЛИТКА, ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОДУКТЫ, ОСАДКИ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ, ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ, КЕРАМИЧЕСКИЙ КЛИНКЕРНЫЙ КИРПИЧ*

*Целью представленной работы является оценка влияния добавки осадков химической водоподготовки на структуру керамических клинкерных материалов и их физико-механические свойства. Проведенные предварительные исследования по использованию техногенных продуктов энергетического комплекса (осадков химической водоподготовки теплоэлектроцентралей) в качестве добавок при производстве клинкерных керамических материалов показали, что их применение не ухудшает качества конечного изделия. На ОАО «Обольский керамический завод» изготовлены опытные образцы керамической клинкерной тротуарной плитки (керамический клинкерный кирпич) с добавками техногенных продуктов энергетического комплекса (осадков химической водоподготовки). Добавка осадков химической водоподготовки в количестве 2 мас. % способствует формированию более равномерной структуры спеченной основной массы плитки, приводит к процессам кристаллизации твердых минералов из расплава и увеличению*

#### ABSTRACT

*CLINKER, BRICK PAVING SLABS, TECHNOGENIC PRODUCTS, RAINFALL OF CHEMICAL WATER TREATMENT, COMBINED HEAT AND POWER PLANT, CERAMIC BRICK*

*The purpose of the presented work is to assess the effect of the addition of chemical water treatment precipitates to the structure of ceramic clinker materials and their physical and mechanical properties. Preliminary studies conducted on the use of technogenic products of the energy complex (precipitation of chemical water treatment of thermal power plants) as additives in the production of clinker ceramic materials showed that their use does not impair the quality of the final product. At Obolsky Ceramic Plant, prototypes were produced of ceramic clinker paving tiles (ceramic clinker bricks) with additives of technogenic products of the energy complex (precipitation of chemical water treatment). Addition of chemical water treatment precipitates in amount of 2 % of weight contributes to formation of more uniform structure of sintered main mass of tiles, leads to processes of solid minerals crystallization from melt and increases the amount of glass phase, which determines strength properties of ceramic products. Studies of the physical and mechanical properties of the prototypes showed that ceramic clinker tiles*

\* E-mail: [grec\\_alex@rambler.ru](mailto:grec_alex@rambler.ru) (A. Hrachanikau)

*количества стеклофазы, определяющей прочностные свойства керамических изделий. Исследования физико-механических свойств опытных образцов показали, что плитка керамическая клинкерная (кирпич керамический клинкерный) с добавкой техногенных продуктов энергетического комплекса (осадков химической водоподготовки теплоэлектроцентралей) соответствует СТБ 1787-2007. По результатам выполненных исследований на ОАО «Обольский керамический завод» разрабатываются технические условия на керамическую клинкерную плитку и технологический регламент ее изготовления.*

*(ceramic clinker bricks) with the addition of technogenic products of the energy complex (precipitation of chemical water treatment of thermal power plants) comply with STB 1787-2007 standard. Based on the results of the studies performed at Obolsky Ceramic Plant, specifications for ceramic clinker tiles and technological regulations for their manufacture are being developed.*

Клинкер, или клинкерная керамика, – это искусственные каменные материалы установленной формы, выработанные из глины путем обжига при температуре до 1300 °С до полного спекания без остекловывания поверхности. От обычных изделий грубой строительной керамики клинкерные керамические материалы отличаются более высокой механической прочностью (на сжатие, истирание и изгиб), меньшим водопоглощением (0–6 % по массе). Применяются для отделки фасадов, покрытия мостовых, изготовления ступеней и др. [1].

К основным материалам, которые являются сырьём для производства клинкерных керамических изделий, относятся глины, каолины. Для придания необходимых свойств при изготовлении клинкерных керамических материалов используются пигменты,  $BaC_2$  для связывания водорастворимых солей, порообразующие, выгорающие, отошающие или пластифицирующие добавки. Порообразующие материалы (вещества, которые при обжиге диссоциируют с выделением газа, например  $CO_2$  (молотые мел, доломит), или выгорают, вводят в сырьевую массу для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью. Выгорающие добавки: древесные опилки, измельченный бурый или каменный уголь, отходы углеобогатительных фабрик, золы ТЭС и лигнин не только повышают пористость стеновых керамических изделий, но также некоторые из них способствуют равномерному спеканию керамического черепка. Пластифициру-

ющими добавками являются высокопластичные глины, а также поверхностно-активные вещества [1].

В последнее время всё более востребованными являются технологии по рациональному использованию природных ресурсов. В ряде случаев использование отходов промышленного производства позволяет заменить природные ресурсы. Наряду с этим, применение техногенного сырья решает важную экологическую проблему загрязнения окружающей среды, позволяет уменьшить затраты на производство строительных материалов по сравнению с производством из природного сырья [2]. Известны также результаты зарубежных исследований [3, 4], которые свидетельствуют о мировых тенденциях в индустрии отделочно-строительных материалов, рассматривающих перспективность применения осадков химводоподготовки при изготовлении керамических клинкерных материалов.

В настоящее время на территории Республики Беларусь не производится клинкерная тротуарная плитка (керамический клинкерный кирпич), поэтому данный вид на рынке строительных материалов представлен только импортной продукцией. На основе проведенного мониторинга маркетинговой службы ОАО «Обольский керамический завод» установлено, что при соответствующем качестве, в сочетании с более низкой ценой, по сравнению с импортруемой, клинкерная тротуарная плитка (керамический клинкерный кирпич) будет пользоваться устойчивым спросом.

Цель работы – оценка влияния добавки осадков химической водоподготовки на структуру керамических клинкерных материалов и их физико-механические свойства.

#### Материалы и методы исследования

Основой для производства клинкера является глина. Химический состав в значительной мере определяет пригодность глинистого сырья для производства определенных видов изделий. Примерное содержание оксидов в глинистых породах:  $SiO_2$  – 45–80 %;  $Al_2O_3$  – 10–35 %;  $CaO$  – 0,5–25 %;  $MgO$  – 0–4 %;  $Fe_2O_3$  до 15 %;  $TiO_2$  – не более 1,5 %;  $Na_2O$  и  $K_2O$  – до 6 % [1]. Установившаяся практика показала, что глина, применяемая для изготовления клинкера, должна обладать следующими свойствами:

- температура спекания – в диапазоне от 1160 °C до 1250 °C;
- содержание оксидов ( $CaO$  и  $MgO$ ) – не более 1,25–2,0 %;
- содержание оксида  $Fe_2O_3$  – не менее 6–9 %, а щелочей – не менее 3,3–7,8 %;
- содержание оксида  $Al_2O_3$  – от 17,5 до 23 % [1, 5].

Химический состав связан с минералогическим составом: повышенное содержание глинозема характерно для каолинита ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ); резко пониженное количество  $Al_2O_3$  и повышенное  $SiO_2$  характерно для монтмориллонита ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$ ). Гидролюда занимает промежуточное положение. Химический состав является одним из критериев пригодности сырья для производства керамических изделий различного назначения. Структура клинкера представляет собой соединение множества кристаллов разных размеров, между которыми находится промежуточное вещество. Состав клинкера можно подразделить на химический и минералогический. Минералогический состав клинкера содержит следующие основные компоненты: алюминат ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) – 5–15 %; алит ( $3CaO \cdot SiO_2$ ) – 40–60 %; белит ( $CaO \cdot SiO_2$ ) – 15–40 %; алюмоферрит ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ) – 10–20 %. Химический состав клинкера может колебаться в достаточно больших пределах, даже в вышеописанном алюминате за счёт инородных ионов, особенно  $Si^{4+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Na^+$  и  $K^+$ . Основными оксидами являются: оксид кальция ( $CaO$ ) 64–66 %; диоксид

кремния ( $SiO_2$ ) 22–24 %; оксид железа ( $Fe_2O_3$ ) 2–4 %; оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) 5–8 %, которые в сумме составляют до 97 % [5, 6, 7]. Остальное – составляют различные добавки.

Важной составляющей глинистого сырья в процессе производства клинкерных керамических материалов является наличие в нем оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). Он снижает вязкость массы, а также позволяет снизить деформацию изделий в процессе обжига. Легкоплавкие глины имеют в своем составе недостаточное количество  $Al_2O_3$ , поэтому для его увеличения (до 17–25 %) в шихту добавляют каолиновые глины [5, 6, 7].

В работе [8] были проведены исследования по оптимизации соотношения между осадками химической водоподготовки ТЭЦ и температурным режимом окончательного обжига плитки с целью установить рациональные значения содержания осадков химической водоподготовки ТЭЦ, обеспечивающие требуемые физико-механические свойства плитки и температурный режим окончательного обжига с наиболее низким расходом энергоресурсов. По результатам выполненных исследований [8] и в соответствии с требованиями СТБ 1450-2010 «Технологическая документация. Рецептура. Общие требования к разработке» разработана рецептура, состав сырья и изготовлена опытная партия керамической клинкерной плитки. Состав смеси для формовки керамической клинкерной плитки с добавками осадков химической водоподготовки ТЭЦ составлял, мас. %:

- глина месторождения «Рудня-2» – 25 %;
- глина месторождения «Латненское» – 40 %;
- глина месторождения «Заполье» – 30 %;
- шамот (бой огнеупорного кирпича) – 3 %;
- осадки химической водоподготовки ТЭЦ – 2 %.

Анализ компонентов глинистого сырья, представленный в работе [9], показал, что глина месторождений «Рудня-2», «Заполье» имеют содержание оксида ( $Al_2O_3$ ) – от 11,90 % до 14,00 % соответственно, а глина месторождения «Латненское» Воронежской обл. – 26,35 %. Кроме того, глина месторождения «Заполье» имеет повышенное содержание оксида кальция ( $CaO$ ) и магния ( $MgO$ ) – 7,20 % 2,40 % соответственно. Для снижения вредного воздействия оксидов кальция и магния глинистое сырье проходило

предподготовку в виде измельчения. В качестве шамота использовался бой огнеупорного кирпича.

Результаты проведенных исследований фазового и оксидного состава осадков химической водоподготовки ТЭЦ, представленные в работах [9, 10], показали наличие значительного количества неблагоприятных для изготовления клинкерных керамических материалов фаз кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ) и  $\text{FeO(OH)}$ , а также оксида кальция ( $\text{CaO}$ ). Гранулометрический состав отходов химической водоподготовки ТЭЦ составлял от 7  $\mu\text{м}$  до 1,25  $\text{мм}$ . Наличие этих примесей в виде крупных включений способно привести к появлению пор в структуре клинкера, и как следствие, к разрушению изделий после обжига. Для того, чтобы снизить вредное влияния на физико-механические и эксплуатационные свойства клинкера присутствия в осадках химической водоподготовки ТЭЦ этих фаз и оксидов, добавка осадков химической водоподготовки ТЭЦ про-

ходила интенсивную механическую активацию [10].

#### Анализ полученных результатов

Исследование элементного состава и анализ микроструктуры образцов керамической клинкерной плитки проводили с помощью электронного сканирующего микроскопа JEOL JSM-5610 LV с электронно-зондовым энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором EDX JED-2201 (JEOL Ltd., Япония). В соответствии с методикой проведения исследований были подготовлены срезы образцов плитки, толщиной 50  $\mu\text{м}$ . Для проверки воспроизводимости результатов энергодисперсионного анализа на каждом срезе выбирались несколько точек, в которых проводились измерения. На рисунках 1 и 2 приведены результаты рентгено-флуоресцентного анализа образцов. В таблице 1 представлен усредненный элементный состав по всем срезам образцов плитки.

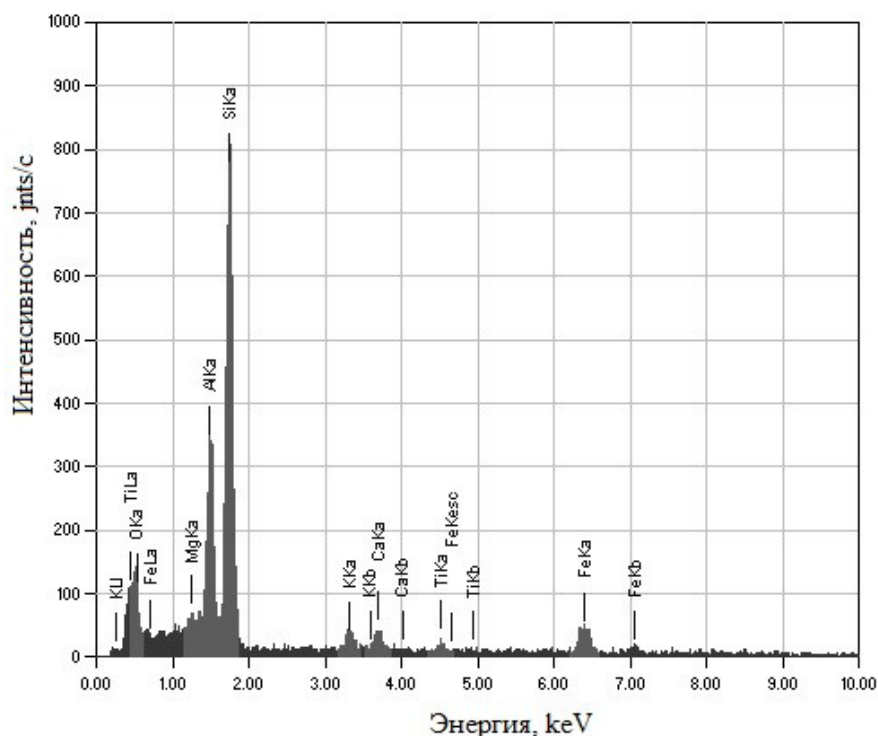


Рисунок 1 – Рентгено-флуоресцентный анализ образца плитки с добавкой осадков химической водоподготовки (2%)

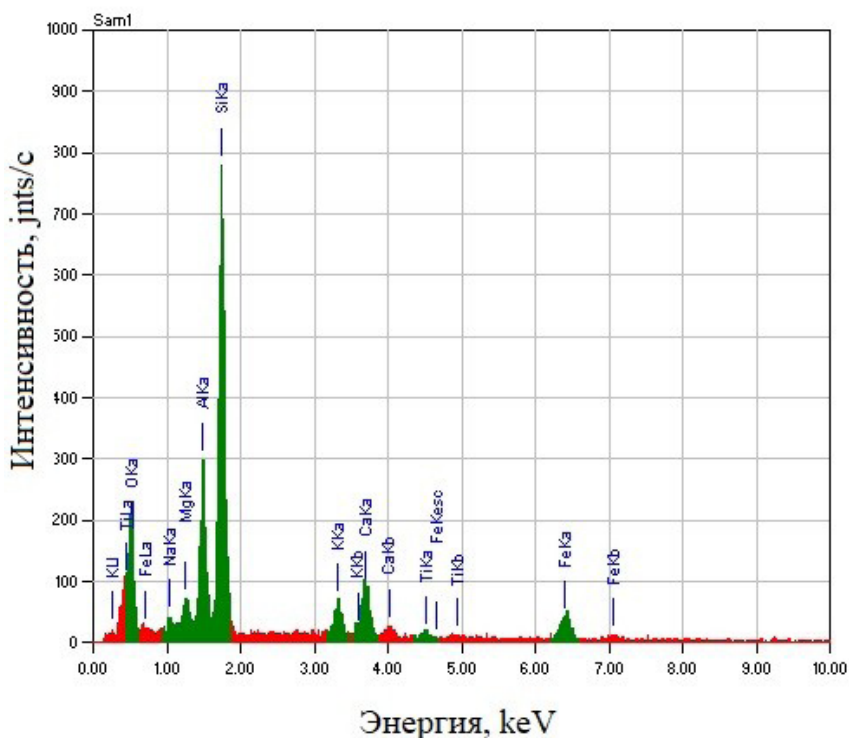


Рисунок 2 – Рентгено-флюоресцентный анализ образца плитки без добавки осадков химводоподготовки

Таблица 1 – Усредненный элементный состав образцов керамической клинкерной плитки

Образец плитки с добавками осадков химводоподготовки (2 %)			Образец плитки без добавки осадков химводоподготовки		
Element	Mas., %	Error, %	Element	Mas., %	Error, %
<i>O</i>	30,29	0,03	<i>O</i>	45,91	0,00
<i>Na</i>	0,22	0,01	<i>Na</i>	0,96	0,18
<i>Mg</i>	0,64	0,01	<i>Mg</i>	1,71	0,13
<i>Al</i>	14,60	0,01	<i>Al</i>	9,02	0,13
<i>Si</i>	39,29	0,01	<i>Si</i>	27,75	0,15
<i>K</i>	2,17	0,01	<i>K</i>	3,09	0,10
<i>Ca</i>	2,52	0,01	<i>Ca</i>	5,06	0,14
<i>Ti</i>	1,66	0,01	<i>Ti</i>	0,77	0,19
<i>Fe</i>	8,61	0,01	<i>Fe</i>	5,73	0,25
Всего	100,00		Всего	100,00	

Анализ элементного состава образца керамической клинкерной плитки показал, что включение добавки осадков химводоподготовки в состав керамической массы увеличило содержание железа (5,73 мас. % в образце без добавки и

8,61 мас. % в образце с добавкой), а добавление глины месторождения «Латненское» – содержание алюминия (9,02 мас. % в образце без добавки и 14,60 мас. % в образце с добавкой), что положительно сказывается на плотности плитки.

Кроме этого, введение добавки и глин месторождений «Латненское» и «Рудня 2» увеличило содержание кремния (27,75 мас. % в образце без добавки и 39,29 мас. % в образце с добавкой). В процессе обжига образца основной кристаллической фазой будет являться кварц, кроме того, будут присутствовать фазы алюмосиликатов и гематита. Основными фазовыми превращениями в оксидах  $SiO_2$  являются полиморфные переходы  $\alpha$ - $\beta$ -кварц [10, 11]. В силикатах эти превращения начинают происходить в интервале температур от 500 до 550 °C в результате энергоемкого процесса с потерей кристаллизационной воды, при этом каолинит трансформируется в метакаолинит, который является промежуточной стадией при переходе к высокотемпературным кристаллическим решеткам. Оксид алюминия  $Al_2O_3$  в указанном температурном интервале будет преобразовываться в результате твердофазной реакции в анортит. В глине в интервале температур (900–950) °C будет происходить переход железистых соединений в гематит  $Fe_2O_3$  с выраженным экзотермическим эффектом, что способствует локальному разогреву керамики и, как следствие, активации процессов спекания. Кальцит при температуре (900±10) °C подвергается разложению с образованием оксида кальция  $CaO$  и  $CO_2$ , а соединения

железа и его оксиды, предположительно, растворяются в стеклофазе [12]. Этот процесс является эндотермическим и по температуре совпадает с процессом дегидратации каолинита [13]. Согласно диаграмме фазовых состояний системы  $CaO-SiO_2$  [14], в интервале температур (800–930) °C образуются соединения метасиликата кальция ( $CaSiO_3$ ), трехкальциевый силикат ( $Ca_3Si_2O_7$ ) и ортосиликат ( $Ca_2SiO_4$ ) кальция. В работе [15] показано, что процесс кристаллизации анортита в глинистой массе с повышенным содержанием кальцита начинается при температуре 840 °C и проходит с выраженным экзотермическим эффектом. Процессы диссоциации  $CaCO_3$  и дегидратации каолинита являются эндотермическими и проходят с учетом энергии, выделяемой при кристаллизации анортита. Вследствие этого оптимальный режим температурной обработки должен ускорить фазовые превращения с увеличением количества формируемого анортита, что будет способствовать повышению прочности керамики [12].

Микроструктура образцов плитки с добавлением осадков химводоподготовки и без добавки осадков по данным проведенной оптической микроскопии представляет собой наличие относительно крупных плотных включений, а также пор (рисунок 3 а, б и 4 а, б) в спеченной

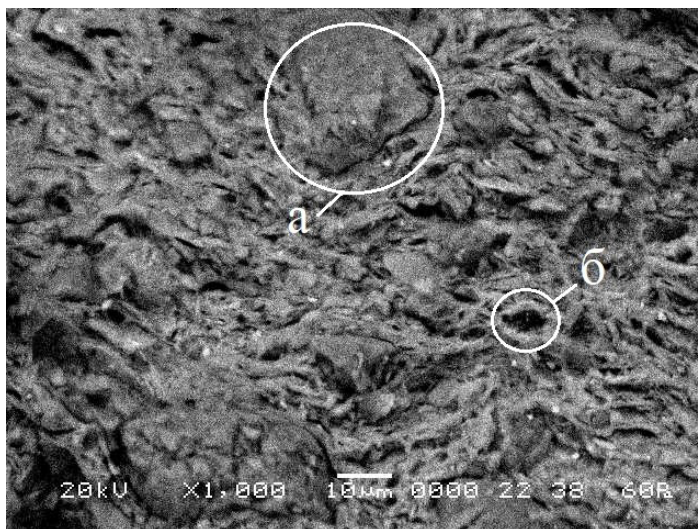


Рисунок 3 – Микроструктура образца керамической клинкерной плитки (увеличение в 1000 раз) с добавкой осадков химводоподготовки: а – плотные включения, б – поры

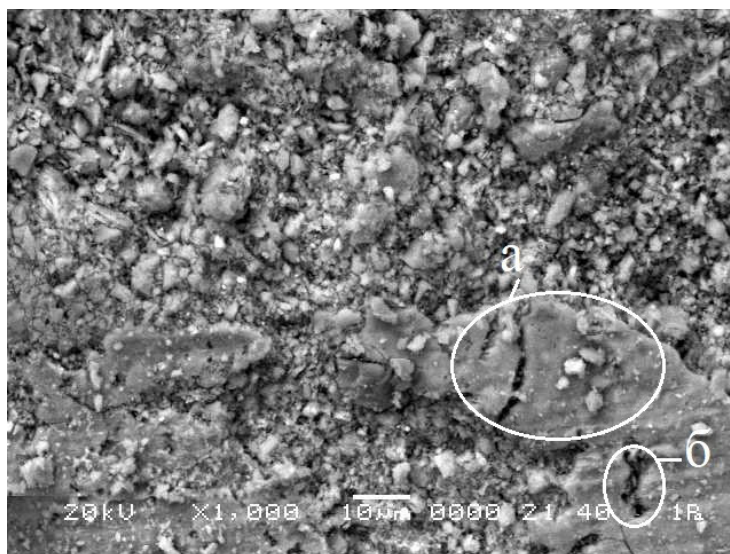


Рисунок 4 – Микроструктура образца керамической клинкерной плитки (увеличение в 1000 раз) без добавок: а – плотные включения, б – поры

основной массе плитки. Анализируя полученные изображения, можно сделать вывод о том, что добавление осадков химической водоподготовки в шихту способствует формированию более равномерной структуры (рисунок 3) спеченной основной массы плитки по сравнению с мелкозернистой структурой в образце без добавки (рисунок 4). Наличие в образцах относительно крупных плотных включений, а также пор, может быть признаком появления расплава при снижении температуры плавления и приводить к процессам кристаллизации минералов из расплава. Этому процессу способствует увеличение содержания карбоната кальция, при разложении которого происходит выделение газов, что приводит

к образованию пор. Наличие в осадках фаз кальцита способствует увеличению количества жидкой фазы и, возможно, содержанию стеклофазы  $R_2O \cdot R_2O_3 \cdot nSiO_2$ , в которой, предположительно, растворяются оксиды железа и железистых соединений.

Проведенные исследования плитки по основным физико-механическим свойствам показали (таблица 2), что добавление неорганических осадков химической водоподготовки ТЭЦ в количестве 2 мас. % не ухудшает прочностных свойств керамической клинкерной плитки [8, 16].

В ходе лабораторных испытаний, проведенных отделом технического контроля ОАО «Обо-

Таблица 2 – Результаты испытаний плитки

Наименование показателя. Единицы измерения	Нормированное значение показателей, установленных СТБ 1787–2007	Среднее значение показателей для образца без добавки	Среднее значение показателей для образца с добавкой
1. Плотность, $кг/м^3$	Не менее 2000	2150	2200
2. Предел прочности при сжатии, $МПа$	25	30,8	30,6
3. Предел прочности при изгибе, $МПа$	1,7	3,4	3,4
4. Водопоглощение, %	не более 4	1,8	3,8
5. Наличие известковых включений	–	нет	нет

льский керамический завод», установлено, что опытные образцы плитки согласно СТБ 1787-2007 «Кирпич керамический клинкерный. Технические условия» соответствуют классу А [16].

#### ВЫВОД

1. Добавление осадков химической водоподготовки ТЭЦ в количестве 2 мас. % при производстве керамических клинкерных материалов из глинистого сырья «Заполье», «Рудня-2» и «Латненское» способствует появлению расплава, что приводит к процессам кристаллизации твердых минералов из расплава и увеличению количества стеклофазы, определяющей прочностные свойства керамических изделий.

2. Добавление осадков химической водоподготовки ТЭЦ в шихту способствует формированию более равномерной структуры спеченной основной массы плитки.

3. По функциональному назначению отходы химводоподготовки ТЭЦ могут быть рекомендованы в качестве добавки в состав керамической массы при производстве керамической клинкерной плитки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трофимов, Б. Я., Шулдяков, К. В. (2019), *Технология строительной керамики: учебное пособие*, Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 524 с.
2. Лазарева, Т. Л., Куликова, Е. С. (2016), Исследование влияния отходов промышленности на свойства стеновой керамики, *Технические науки – от теории к практике, Сборник статей по материалам LV Международной научно-практической конференции*, Новосибирск, 2016, Т. 50, № 2, С. 135–140.
3. Макаров, Д. В., Мелконян, Р. Г., Суворова, О. В., Кумарова, В. А. (2016), Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов, *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2016, № 5, С. 254–281.

#### REFERENCES

1. Trofimov, B. Ya., Shuldyakov, K. V. (2019), *Tekhnologiya stroitel'noy keramiki: uchebnoe posobie* [Construction ceramics technology: study], Chelyabinsk, Izdatel'skiy tsentr YuUrGU, 524 p.
2. Lazareva, T. L., Kulikova, E. S. (2016), Industry waste effect on wall ceramics properties [Issledovanie vliyaniya otkhodov promyshlennosti na svoystva stenovoy keramiki], *Engineering sciences – from theory to practice, Collected papers of proceedings of 55th International scientific and practical conference*, Novosibirsk, 2016, vol. 50, № 2, pp. 135–140.
3. Makarov, D. V., Melkonyan, R. G., Suvorova, O. V., Kumarova, V. A. (2016), Prospects for use of industrial waste to obtain ceramic building materials [Perspektivy ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov dlya polucheniya



4. Cruz, D. C., Oliveira, J. S., Alvarenga, M. C. S., Lavall, R. L., de Oliveira, C. R. (2016), Quality Improvement of Ceramic Bricks by Incorporation of Sludge from Water Treatment Units, *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, 2016, Vol. 2, № 2, P. 42–56.
5. Особенности химического и минералогического состава клинкера (клинкерного кирпича), а также его структуры (2019), available at: <http://mini-proizvodstvo.ru/klinkernyj-kirpich/proizvodstvo-klinkernogo-kirpicha.html> (accessed 22 September 2019).
6. Освоение производства клинкерного кирпича на Обольском керамическом заводе (2019), available at: <http://ais.by/story/734> (accessed 22 December 2019).
7. Клинкерный кирпич (2019), available at: [http://tellis.ucoz.ru/publ/klinkernyj\\_kirpich/14-1-0-142](http://tellis.ucoz.ru/publ/klinkernyj_kirpich/14-1-0-142) (accessed 22 December 2019).
8. Гречаников, А. В., Ковчур, А. С., Потоцкий, В. Н., Тимонов, И. А., Лятос, А. И. (2021), Исследование влияния содержания в исходном сырье осадков химической водоподготовки на физико-механические свойства тротуарной плитки, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 1(40), С. 115.
9. Манак, П. И., Ковчур, А. С., Гречаников, А. В., Тимонов, И. А. (2020), Техногенные продукты химической водоподготовки теплоэлектроцентралей как добавка к клинкерным керамическим материалам, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, № 1(38), С. 150.
10. Ковчур, А. С., Шелег, В. К., Жорник, В. И., Ковалева, С. А. (2020), Модифицирование керамического кирпича добавками неорганических техногенных продуктов водоподготовки ТЭЦ, *Наука и техника*, 2020, Т. 19, № 3, С. 204–214.
11. Левицкий, И. А., Хоружик, О. Н. (2017), Исследование керамических строительных материалов], *Gorny Informatsionno-Analitichesky Byulleten – Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2016, № 5, pp. 254–281.
4. Cruz, D. C., Oliveira, J. S., Alvarenga, M. C. S., Lavall, R. L., de Oliveira, C. R. (2016), Quality improvement of ceramic bricks by incorporation of sludge from water treatment units, *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, 2016, Vol. 2, № 2, pp. 42–56.
5. Osobennosti khimicheskogo i mineralogicheskogo sostava klinkera (klinkernogo kirpicha), a takzhe ego struktury [Features of the chemical and mineralogical composition of clinker brick and also its structures] (2019), available at: <http://mini-proizvodstvo.ru/klinkernyj-kirpich/proizvodstvo-klinkernogo-kirpicha.html> (accessed 22 September 2019).
6. Osvoenie proizvodstva klinkernogo kirpicha na Obol'skom keramicheskom zavode [Development of clinker brick production at Obol Ceramic Plant] (2019), available at: <http://ais.by/story/734> (accessed 22 December 2019).
7. Klinkernyy kirpich [Clinker brick] (2019), available at: [http://tellis.ucoz.ru/publ/klinkernyj\\_kirpich/14-1-0-142](http://tellis.ucoz.ru/publ/klinkernyj_kirpich/14-1-0-142) (accessed 22 December 2019).
8. Hrachanikau, A., Kauchur, A., Patotski, V., Timonov, I., Liatas, A. (2021), Investigation of influence of chemical water treatment sediments content in initial raw material on physical and mechanical properties of paving tiles [Issledovanie vliyaniya sodержaniya v iskhodnom syr'e osadkov khimicheskoy vodopodgotovki na fiziko-mekhanicheskie svoystva trotuarnoy plitki], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 1(40), p. 115.
9. Manak, P., Kauchur, A., Hrachanikau, A., Timonov, I. (2020), Technogenic products of chemical water treatment of thermal power plants

- дование процессов спекания полиминеральных глин с целью получения клинкерного кирпича, Наука и технологии строительных материалов: состояние и перспективы развития, *Материалы докладов Международной научно-технической конференции*, Минск, БГТУ, 2017, С. 93–96.
12. Левицкий, И. А., Климов, Ю. А. (2005), Структурообразование плотносспекшейся керамики бытового назначения, *Стекло и керамика*, 2005, № 6, С. 32–36.
  13. Голованов, С. П., Зубехин, А. П., Лихота, О. В. (2004), Отбеливание и интенсификация спекания керамики при использовании железосодержащих глин, *Стекло и керамика*, 2004, № 12, С. 9.
  14. Павлов, В. Ф. (1977), *Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики*, Москва, Стройиздат, 1977, 240 с.
  15. Каныгина, О. Н., Четверикова, А. Г., Лазарев, Д. А., Сальникова, Е. В. (2010), Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах, *Вестник Оренбургского государственного университета*, 2010, Т. 112, № 6, С. 113–118.
  16. СТБ 1787-2007. *Кирпич керамический клинкерный. Технические условия* – Введ. 2007-09-28, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2007, 7 с.
  10. Kauchur, A. S., Sheleh, V. K., Zhornik, V. I., Kovaliova, S. A. (2020), Modification of a ceramic brick additives of inorganic technogenic products of water treatment of combined heat and power plant [Modifitsirovanie keramicheskogo kirpicha dobavkami neorganicheskikh tekhnogennykh produktov vodopodgotovki TETs], *Nauka i tekhnika – Science and Technique*, 2020, № 19(3), pp. 204–214.
  11. Levitskiy, I. A., Khoruzhik, O. N. (2017), Research of sintering processes the polimeneralnykh of clays for the purpose of receiving a brick brick [Issledovanie protsessov spekaniya polimineralnykh glin s tsel'yu polucheniya klinkernogo kirpicha], *Science and technologies of structural materials: state and prospects of development, Materials of the International scientific and technical conference*, Minsk, 2017, pp. 93–96.
  12. Levitskii, I. A., Klimov, Yu. A. (2005), Structuring of densely sintered ceramic for domestic use [Strukturoobrazovanie plotnospeksheysya keramiki bytovogo naznacheniya], *Steklo i Keramika – Glass and Ceramics*, 2005, № 6, pp. 32–36.
  13. Golovanov, S. P., Zubekhin, A. P., Likhota, O. V. (2004), Bleaching and intensification of sintering of ceramics based on iron-bearing clays [Otblivanie i intensifikatsiya spekaniya keramiki pri ispol'zovanii zhelezosoderzhashchikh glin], *Steklo i Keramika – Glass and Ceramics*, 2004, № 12, pp. 9–11.
  14. Pavlov V. F. (1977), *Physicochemical principles of firing construction ceramics* [Physical and chemical bases of roasting of construction

ceramics], Moscow, Stroyizdat Publ, 240 p.

15. Kanygina, O. N., Chetverikova, A. G., Lazarev, D. A., Sal'nikova, E. V. (2010), High-temperature of phase transformations in iron clays [Vysokotemperaturnye fazovye prevrashcheniya v zhelezosoderzhashchikh glinakh], *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta – Vestnik of Orenburg State University*, 2010, № 112 (6), pp. 113–118.
16. STB 1787-2007. *The brick is ceramic brick. Specifications*, Entered 2007-09-28, Minsk, Gosstandart of Republic of Belarus publ., 2007, 7 p.

Статья поступила в редакцию 24. 11. 2021 г.