

Василенко Т.А., канд. техн. наук, доц.,
Ламакина М.П., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

pe@intbel.ru

Показана возможность получения керамзита с использованием до 3,0 % электросталеплавильного шлака, образующихся на АО «ОМК». Установлено, что при температуре 1170 °С формируется керамзит с высокими прочностными свойствами и с высоким коэффициентом вспучивания. Предварительная тепловая подготовка образцов с добавкой шлака составляла 500 °С. Изучено влияние содержания в сырьевой шихте техногенного материала – электросталеплавильного шлака на количество стеклофазы и физико-механические свойства опытных образцов керамзитового гравия. Введение добавки составило от 1 до 10 %. Керамзит с содержанием шлака 3,0 %, полученный при температуре обжига 1170 °С, с насыпной плотностью 339 кг/м³ и прочностью при сдавливании 1,34 МПа может быть использован для лёгких керамзитобетонных блоков. Марка полученных образцов с добавкой шлака по прочности по ГОСТ 9757-90 соответствует П50; по насыпной плотности керамзит соответствует маркам 350 и 400. При увеличении доли добавки более 3 % за счет оплавления поверхности газы не могут выйти на поверхность и вспучиваемость гранулы снижается.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, электросталеплавильный шлак, водопоглощение, прочность на сдавливание, коэффициент вспучивания, средняя плотность гранул, содержание стеклофазы, минерал муллит.

Введение. Ежегодно в индустрии черной и цветной металлургии накапливается огромное количество отходов. На их размещение необходимы значительные площади, что требует затрат на проведение мониторинга почв, подземных вод и атмосферного воздуха. С накоплением промышленных шлаковых отходов в экосистеме нарушается экологическое равновесие. В то же время, шлаки являются перспективным сырьем для производства строительных материалов. При этом не требуется значительных вложений в изменение технологического процесса их производства.

Имеется ряд публикаций об использовании гальванических шламов в производстве керамического гравия и кирпича. Авторами установлено, что процесс миграции тяжелых металлов, входящих в состав сырьевого техногенного материала идет с поверхностных слоев образца и зависит от структуры и фазового состава полученных образцов [1, 2]. Показано, что введение двух шламов до 1,5 % в сырьевую массу приводит к повышению прочностных характеристик керамического кирпича. Токсикологические исследования водных вытяжек (полученных при pH = 7,5 и 5,5) из образцов с оптимальной добавкой шламов с использованием *Daphnia Magna Straus* показали, что они острой токсичностью не обладают [3].

Проведены исследования по утилизации шлаков медно-никелевого производства путем извлечению из них цветных металлов и получе-

нию кремнезема для последующего использования в составе шлакопортландцемента, мелкозернистого бетона и магнезиального вяжущего [4]. Автором предлагается использование зол текущего производства теплоэлектростанций (ТЭС) после сжигания угля при изготовлении пористых заполнителей конструкционного назначения [5]. В статье рассмотрена возможность использования золошлаковых отходов ТЭС Забайкальского края в дорожном строительстве [6]. В золах и шлаках содержатся редкие металлы. Авторами рассмотрен способ бактериального выщелачивания редкоземельных и благородных металлов из золошлаковых отходов энергетических предприятий, а также представлена схема установки для осуществления этого способа [7].

Также предлагаются оптимальные составы химически стойких силикатных композиционных материалов на основе электрокорунда, являющегося отходом электрометаллургического производства ниобия [8, 9]. Авторами разработана рецептура композиционных гипсовых вяжущих на основе портландцемента, тонкомолотого шлака, золы-уноса и гипсового вяжущего с оптимизированным гранулометрическим составом частиц минеральных добавок в ее составе и изучены физико-механические свойства полученных материалов [10]. При производстве керамического гравия на практике ведется использование отработанных минеральных масел или нефтешлама [11, 12].

Показано, что алюмосодержащие отходы с содержанием оксида алюминия более 20 % можно использовать в производстве керамических материалов: кислотоупорных, стеновых, клинкерных и пористых заполнителях с высокими физико-механическими, химическими показателями, что способствует утилизации промышленных отходов и охране окружающей среды [13]. В статье отмечается, что пыль электрофильтров производства алюминия могут быть использованы в качестве добавки при выпуске качественных кирпичных изделий и керамики [14]. Авторами предлагается извлекать цинк из пыли медеплавильного и сталеплавильных производств и из цинковых кеков как основных источников вторичного сырья [15]. По ряду результатов проведенных исследований установлена возможность использования в качестве сырья замасленной прокатной окалины, отвалных доменных шлаков, электросталеплавильного шлака, цитрогипса, шламов феррованадиевого производства с получением цемента, керамзита, вяжущих, лицевого кирпича, при этом решается вопрос разработки научных основ и технологии производства с использованием техногенных материалов [16–21].

В данной работе рассматривается побочный продукт Выксунского металлургического завода, входящий в группу АО «ОМК-Сталь» (г.

Выкса, Нижегородская область) – электросталеплавильный шлак. В настоящее время рассматриваемый отход практически не используется и подлежат складированию в шканохранилище, создавая неблагоприятные условия для окружающей среды, его объем образования составляет более 160 тыс. т/год. Химический оксидный состав электросталеплавильного шлака установлен рентгеноструктурным анализом на рентгенофлуоресцентном спектрометре Scientific ARL 9900 WorkStation в БГТУ им. В.Г. Шухова (Центр высоких технологий) и состоит, % масс: CaO – 35,4; Fe₂O₃ – 25,8; SiO₂ – 17,06; MgO – 8,9; Al₂O₃ – 6,4; MnO – 3,6; Cr₂O₃ – 1,12; Na₂O – 0,69; P₂O₅ – 0,312; TiO₂ – 0,198; SO₃ – 0,176; Cl – 0,094; V₂O₅ – 0,081; BaO – 0,065; SrO – 0,03; WO₃ – 0,027; CuO – 0,019; K₂O – 0,012; CO₃O₄ – 0,009; NiO – 0,004; ZnO – 0,003. Электросталеплавильный шлак Выксунского металлургического завода исследовались по общеизвестным методикам с целью определения физико-химических показателей, которые приведены в табл. 1 и 2. В соответствии с федеральным классификатором отходов (ФККО-2014) шлак относится к малоопасным отходам («Шлаки сталеплавильные», код отхода 3 51 210 21 20 4). Для работы использовали измельченный шлак, который имел в своем составе до 70 % частиц с размером фракции 0,1–0,14 мм (табл. 2).

Таблица 1

Физико-химические свойства электросталеплавильного шлака

| № п/п | Характеристика | Ед. изм. | Значения |
|-------|----------------------|---------------------|-----------|
| 1 | Истинная плотность | кг/м ³ | 2200–3000 |
| 2 | Насыпная плотность | кг/м ³ | 1200–1500 |
| 3 | pH водной вытяжки | – | 11,76 |
| 4 | Удельная поверхность | см ² /кг | 2500–3000 |

Таблица 2

Фракционный состав электросталеплавильного шлака ситовым методом

| Размер агрегатов, мм, и их содержание, % от массы электросталеплавильного шлака | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|------------|--------|
| >1 | 1,0–0,25 | 0,25–0,2 | 0,2–0,14 | 0,1–0,14 | 0,08–0,1 | 0,063–0,08 | ≤0,063 |
| 0,65 | 4,49 | 2,28 | 12,09 | 69,65 | 4,18 | 6,04 | 0,03 |

Минералогический высокоосновного сталеплавильного шлака состав исследовался с помощью рентгенофазового анализа, который выполнен на рентгеновском дифрактометре «Дрон – 2,0» и представлен ортосиликатами с изолированными кремнекислородными тетраэдрами, к которым относятся (рис. 1): силикат кальция Ca₂SiO₄, содержание которого составляет до 19,4 %; ферромагнийевый силикат – оливин Mg₁₊₄₁Fe*₅₉(SiO₄) с содержанием до 9,4 %; алюминатный диопсид Ca(Mg,Al)(Si,Al)₂O₆ с содержанием до 8,7 %; фаялит Fe₂₊₂SiO₄ с содержанием до до 5,7 %. Также присутствуют: марказит FeS₂; магнетит Fe₃O₄; кальцит CaCO₃; железо;

периклаз MgO; кварц SiO₂; вюстит FeO. Рентгенофазовый анализ отмытой глины Терновского происхождения показал, что в её состав входят следующие минералы: монтмориллонит; кварц; бейделлит; сапонит; нантронит; иллит; актинолит; магнетит; анортит; ильменит; гетит; вюстит; кальцит; диккит; ярозит; родохрозит; латерит; магнезит; накрит.

Структура шлака определялась на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU (рис. 2).

В видимом поле микрофотографии частиц шлака (рис. 2 а) полидисперсные зерна (до 2,0 мм) являются микроагрегатами из полимине-

ральных обломочных фаз, которые по мнению авторов скреплены как за счет электростатических сил и коагуляционной облигации [22]. При

большем увеличении (рис. 2 б) в шлаке встречаются не правильной формы частицы от 40 до 200 нм на фоне мелкодисперсных.

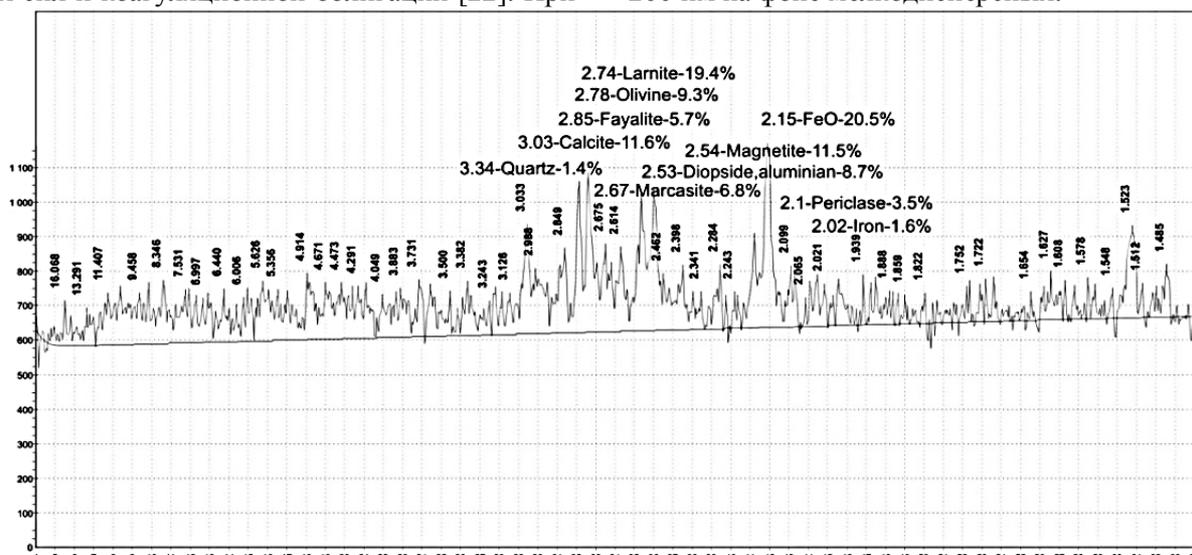


Рис. 1. Рентгенограмма электросталеплавильного шлака

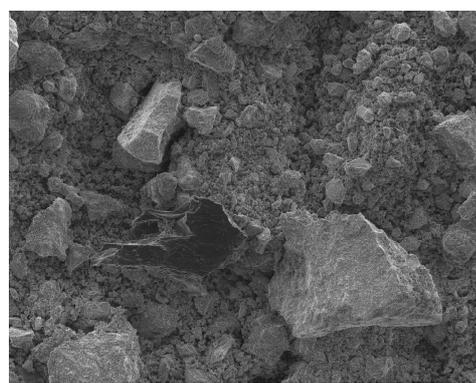
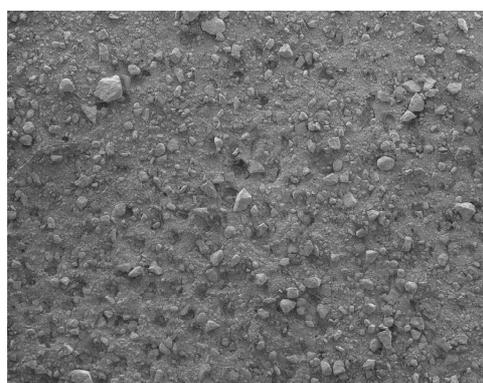


Рис. 2. Микрофотографии частиц шлака: а – микроагрегаты из полиминеральных обломочных фаз; б – обломочные и мелкодисперсные частицы

Методика. В качестве глинистого материала использовали полиминеральную глину Терновского карьера Белгородской области. Отход – электросталеплавильный шлак, вводили в состав сырьевой смеси в количестве от 1 до 10 %, в качестве вспучивающей добавки использовали отработанное нефтемасло – 1 масс., %. Влажность формовочной шихты – 22–24 %. Задачами исследования:

1. Формование гранул с добавкой отхода от 1 до 10 %, проведение их предварительной тепловой обработки образцов – 500 °С (выдержка 20 мин.) и обжига при температуре 1170 или 1185 °С в течении 7 минут в силитовой печи с последующим охлаждением в песке.

2. Проведение физико-механических испытаний опытных образцов керамзитового гравия по ГОСТ 9758-2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

3. Установление оптимальной добавки электросталеплавильного шлака к глине Терновского месторождения Яковлевского района Белгородской области, не ухудшающих физико-механических свойств по ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия».

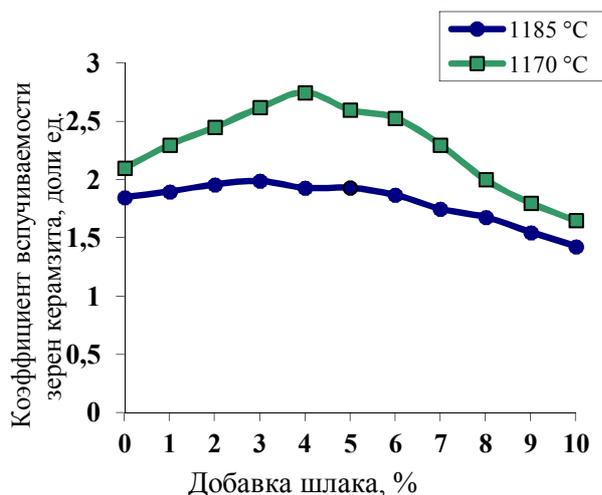
4. Оценка фунгицидных свойств на среде Чапека-Докса полученных образцов керамзита.

5. Установление формы минерала муллита в керамзите с добавкой шлака.

Основная часть. Использование электросталеплавильного шлака в составе сырьевой смеси керамзитового гравия показали следующие результаты. Как следует из рис. 1, температура обжига 1185 °С не рекомендуется для вспучивания гранул при добавке шлака от 0 до 10%; с увеличением его количества, действующего как плавень, понижается вязкость расплава керамических масс, что способствует деформа-

ции изделий при обжиге, полученный керамзит имеют темную оплавленную корочку. Плавни способствуют снижению температуры обжига, они образуют расплав при взаимодействии с кварцем, глинистым веществом и другими компонентами массы под воздействием высокой температуры обжига. С повышением добавки шлака поверхность глинистых гранул размягчается, спекается, в конечном счете, уплотняется и становится газонепроницаемой, находясь при этом в пиропластичном состоянии. Вязкость массы является одним из важных факторов, определяющих развитие процесса вспучивания.

Из кривых видно, что наихудшей вспучиваемостью обладают образцы, которые были получены при температуре 1185 °С, наилучшей – 1170 °С. При указанной температуре тугоплавкий поверхностный слой препятствует слипанию гранул при обжиге, а спекание приповерхностного легкоплавкого слоя при обжиге уменьшает газовую проницаемость оболочки сырцовых гранул. Газы, выделяющиеся в объеме сырцовых гранул при обжиге



($T = 1170$ °С), не имеют выхода через плотную спеченную оболочку и сильнее вспучивают гранулу. Таким образом, одновременно создаются условия для увеличения температурного интервала вспучивания и увеличения коэффициента вспучивания сырцовых гранул при обжиге. При температуре обжига 1185 °С, образующиеся при обжиге глины газы свободно выходят, не достаточно вспучив материал. Образцы керамзита, полученные при температуре обжига 1170 °С с добавкой шлака от 3 до 6 % относятся к средне вспучиваемым с коэффициентом вспучивания от 2,5 до 4,5. На рис. 3 представлены зависимости изменения показателей вспучиваемости керамзитового гравия (а) и насыпной плотности (б). Образцы керамзита, полученные при температуре обжига 1170 °С с добавкой шлака от 3 до 6 % относятся к средне вспучиваемым с коэффициентом вспучивания от 2,5 до 4,5. Слабая степень вспучивания (коэффициент вспучивания составляет менее 2,5) характерна для температуры обжига 1185 °С для образцов с добавкой шлака от 1 до 10 % включительно.

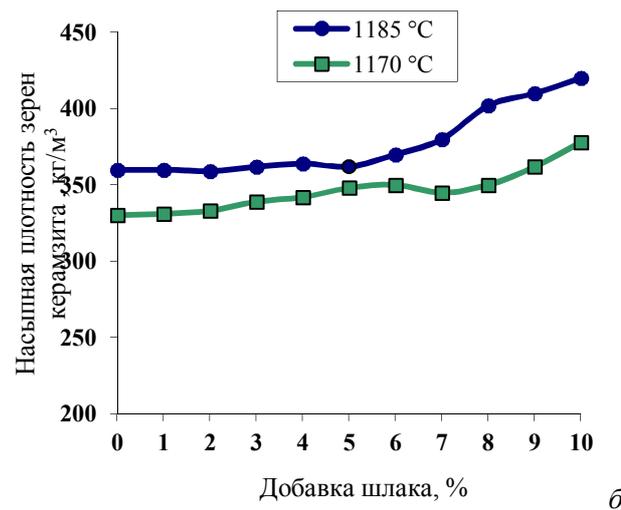


Рис. 3. Влияние содержания электросталеплавильного шлака в сырьевой смеси на показатель вспучиваемости керамзитового гравия (а) и насыпную плотность (б)

Из рис. 4а видно, что с увеличением добавки отхода открытая пористость увеличивается. Общая пористость керамзита может быть в пределах 40–75 % (открытая – 30–65 %). На рис. 4б представлена зависимость изменения показателя водопоглощения керамзита от добавки шлака при различной температуре обжига. Чем выше водопоглощение, тем выше прочность керамзита, а значит, если внешняя оболочка не способна противостоять попаданию влаги внутрь зерна, керамзит не подойдет для строительства.

На рис. 5 приведена зависимость изменения прочности образцов от добавки отхода, где отмечается ее снижение с ростом количества вводимого шлака для двух выбранных температур обжига, что коррелирует с увеличением их

насыпной плотности за счет сильной поризации и образования крупных каверн во внутренней структуре. Уменьшение прочности можно объяснить особенностями структуры полученных гранул и минералогического состава перегородок. Исходя из результатов, представленных на рис. 5, видно, что введение отхода способствует снижению прочности получаемого керамзита. При содержании электросталеплавильного шлака в шихте от 1 до 6 % марка получаемых образцов по прочности для двух температур обжига по ГОСТ 9757-90 снижается с П50 до П15, а при количестве 7–10 % – с П35 до П15. С увеличением добавки шлака, действующего как плавень, понижается вязкость расплава керамических масс, что способствует деформации из-

делий при обжиге. Температура обжига образцов с шлаком, равная 1185 °С не рекомендуется, т.к. происходит или оплавление поверхности или недостаточное вспучивание и снижение

прочности при сдавливании. Установлена оптимальная температура обжига, которой является 1170 °С.

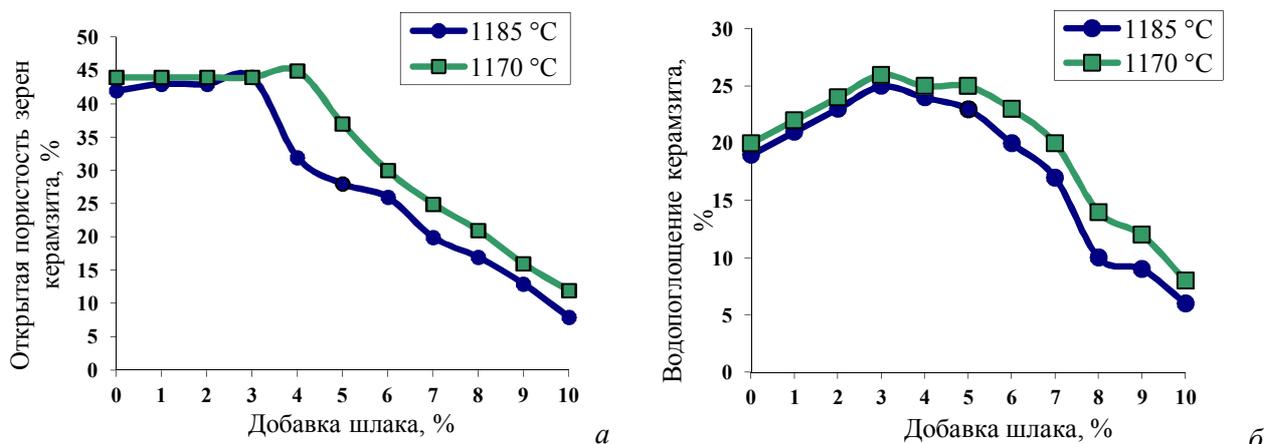


Рис. 4. Влияние содержания электросталеплавильного шлака на открытую пористость керамзитового гравия (а) и водопоглощение (б)

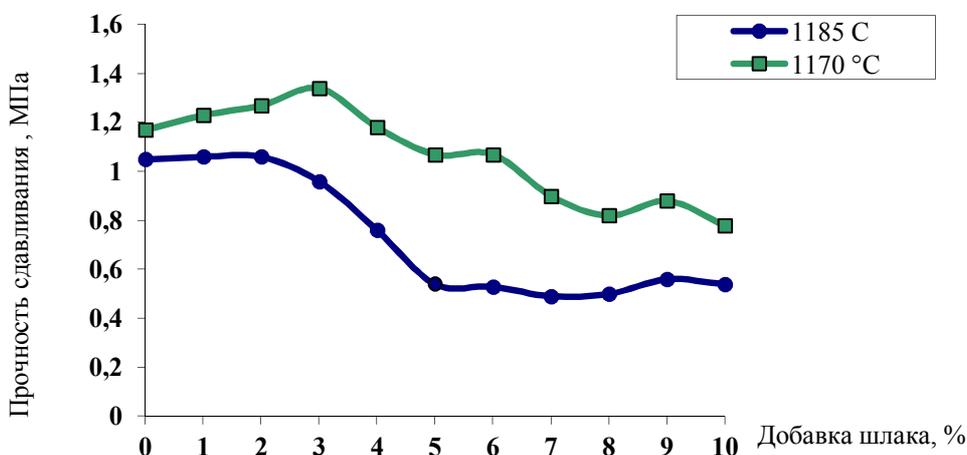


Рис. 5. Влияние содержания электросталеплавильного шлака на прочностные свойства (сдавливание в цилиндре) керамзитового гравия

На рис. 6 представлена диаграмма зависимости влияния содержания шлака на количество стеклофазы в керамзитовом гравии. Присутствие в керамзитовом сырье стеклофазы позволяет улучшить при обжиге его вспучивание.

Еще больше это достигается при полном переходе сырья в состояние стеклообразное. Благодаря увеличению вспучивания увеличивается и объем готовой продукции, что компенсирует высокие расходы на процесс изготовления.

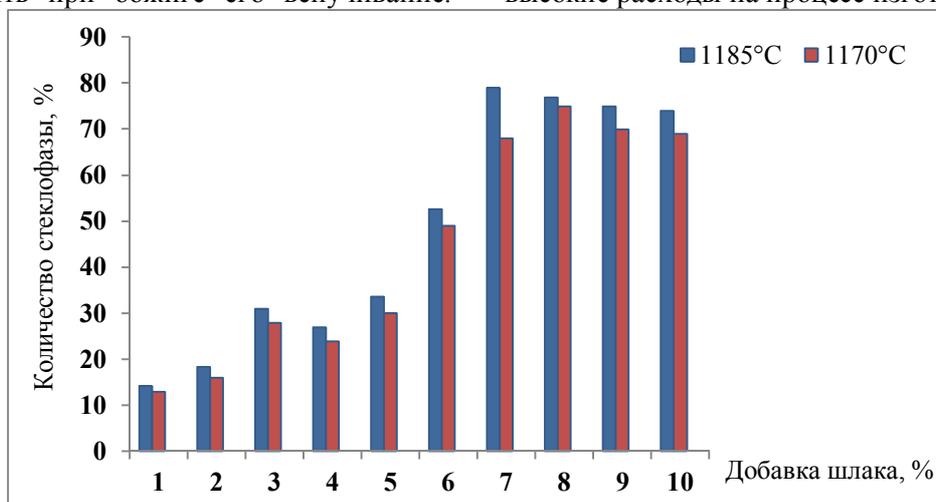


Рис. 6. Влияние содержания добавки электросталеплавильного шлака на количество стеклофазы керамзитового гравия

Теплопроводность материала, характеризуется тем, насколько керамзит удачно прошел стекловидную фазу, отрицательно влияющую на этот показатель. Снижение теплопроводности материала (т.е. повышение теплотехнических показателей) происходит за счет повышения аморфной составляющей при термической обработке (содержание стеклофазы составляет до 79 % при температуре обжига 1170 °С и добавке

шлака 7,0 %). Снижение теплопроводности достигается повышением пористости и содержанием стеклофазы. Таким образом, фазовый состав керамзита при добавке шлака 3,0–6,0 % и температуре обжига 1170 °С на 78,1–79,4 % представлен стеклофазой и на 20,6–21,9 % из кристаллических образований. В поперечном разрезе гранул проявляется зональность (рис 7).

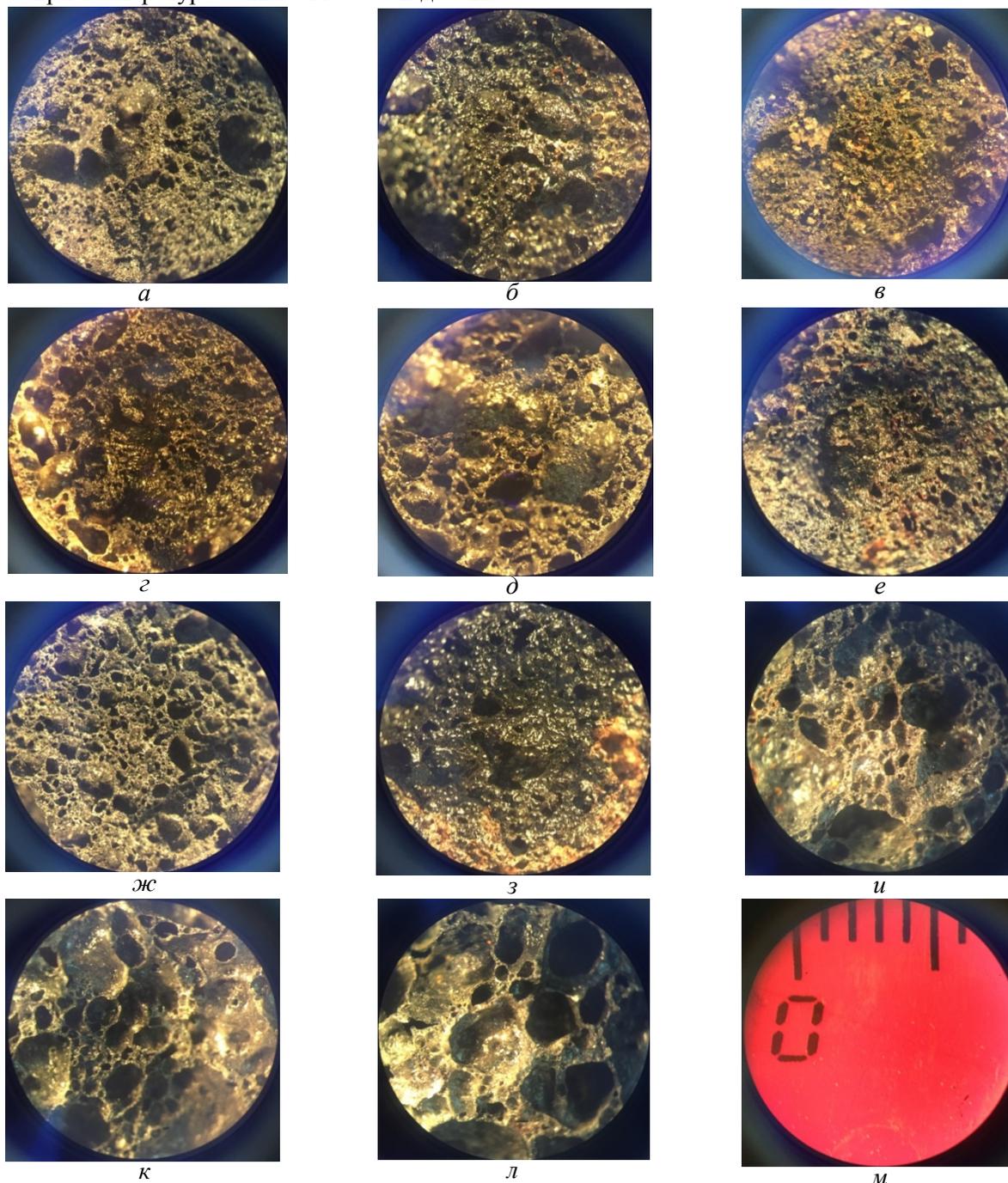


Рис. 7. Структура гранул образцов керамзита, обожженного при температуре 1170 °С с добавкой электросталеплавильного шлака, % масс.: *a* – контроль; *b* – 1,0; *v* – 2,0; *z* – 3,0; *d* – 4; *e* – 5; *ж* – 6; *z* – 7; *и* – 8; *к* – 9; *л* – 10; *м* – шкала с делением 1 мм

Во внутренней части гранулы керамзита формируется неравномерная пористая структура с размерами пор: до 1 мм (рис. 7 *a*, *b*, *v*); до 1,5 мм (мелкопористая структура сочетается с

крупнопористой) (рис. 7 *z*). В дальнейшем при увеличении добавки электросталеплавильного шлака внутри гранулы происходит оплавление пор и за счет сильной поризации происходит

образование каверн. При наличии в изделии шлака 8,0; 9,0 и 10,0 % появляются каверны от 0,7 до 2,0 мм. Увеличение прочности для образцов от 1 до 3 % при температуре обжига 1170 °С объясняется тем, что они обладают мелкой равномерной пористостью, а также однородностью структур перегородок между порами. Уменьшение теплопроводности керамзита происходит с увеличением количества микропустот, которыми являются каверны. При наличии в изделии шлака 8,0; 9,0 и 10,0 % появляются каверны от 0,7 до 2,0 мм. Увеличение прочности для образцов от 1 до 3 % при температуре обжига 1170 °С объясняется тем, что они обладают мелкой равномерной пористостью, а также однородностью

структур перегородок между порами. На рис. 8 приведены результаты исследований внутренней структуры образцов керамзита с добавкой шлака при температуре обжига 1185 °С. Уменьшение теплопроводности керамзита происходит с увеличением количества микропустот, которыми являются каверны. Как видно из рис. 8, поры в большей степени замкнутые, межпоровые перегородки имеют мелкопористую структуру (при содержании шлака 1,0–4,0 %). При введении в состав шихты электросталеплавильного шлака в количестве 1,0–3,0 % происходит формирование замкнутых пор с преимущественным размером до 1 мм (рис. 8, б–г).

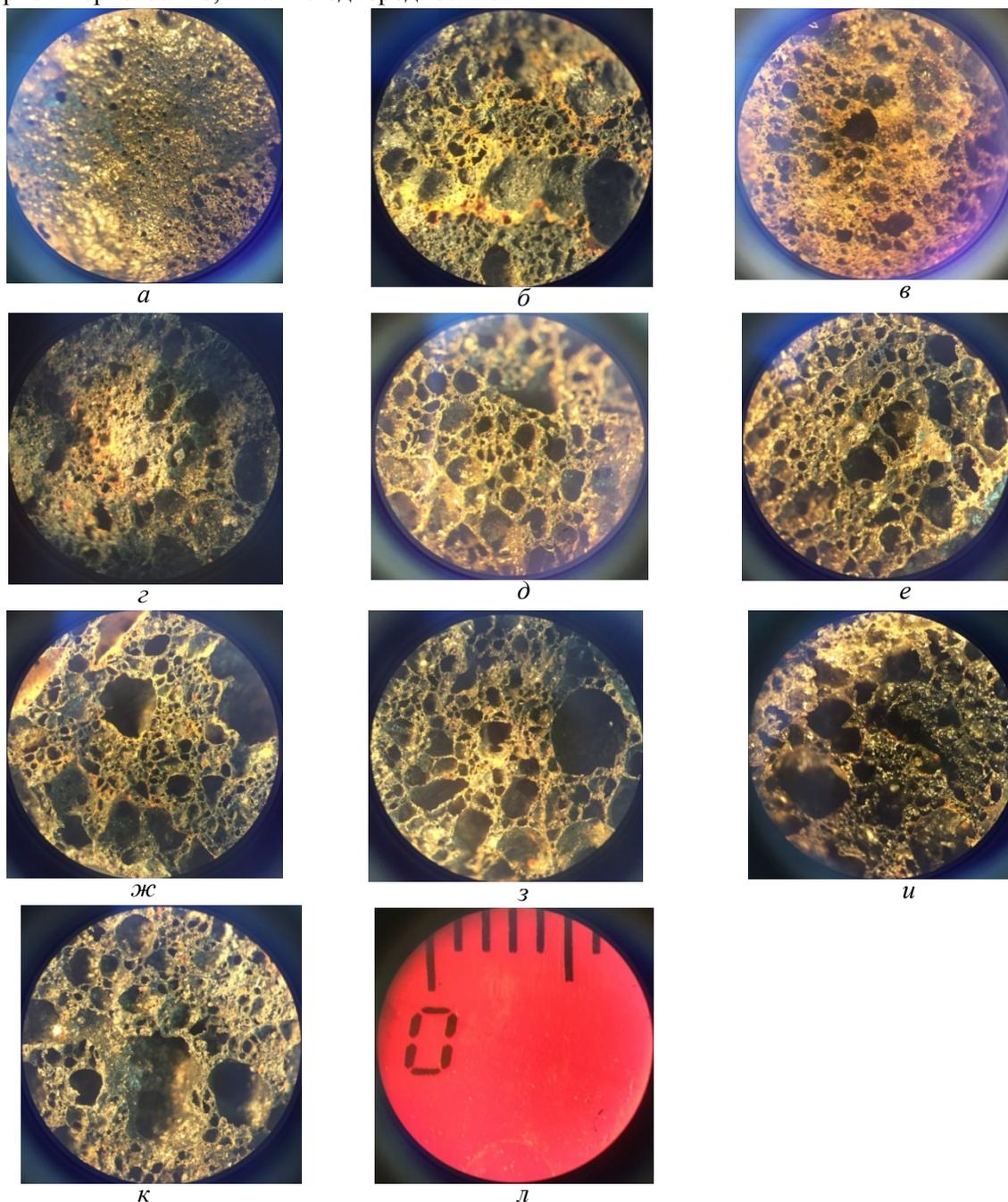


Рис. 8. Структура гранул образцов керамзита, обожженного при температуре 1185 °С с добавкой электросталеплавильного шлака, % масс.: а – контроль; б – 1,0; в – 2,0; г – 3,0; д – 4; е – 5; ж – 6; з – 7; и – 9; к – 10; л – шкала с делением 1 мм

В дальнейшем с повышением содержания шлака с 4,0 до 10,0 % увеличивается размер внутренних пор с 1,5 до 2,5 мм соответственно (рис. 8, д–к), что хорошо согласуется со снижением открытой пористости готового материала и, соответственно, водопоглощения.

Ряд научных работ предполагают, что основные физико-механические свойства керамическим материалам сообщает муллит. Он кристаллизуется при температуре более 1000 °С и армирует стеклофазу, способствуя тем самым ее упрочнению. Введение в состав керамических масс электросталеплавильного шлака способствует при температуре обжига 1170 °С образованию муллита, который способствует повышению физико-механических показателей керамзита. Муллит – минерал из класса силикатов, часто встречается в обожженных керамических материалах и его химический состав непостоя-

нен: от $Al_6Si_2O_{13}$ до Al_4SiO_8 (то есть от $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ до $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$). Формула минерала муллита (*aluminum silicate*), присутствующего на расшифрованных рентгенограммах – $Al_5SiO_{9,5}$, при этом прослеживается увеличение амплитуды пиков муллита в образце с добавкой шлака.

Согласно рентгенофазовому анализу основными кристаллическими новообразованиями в расплаве являются анортотоклас ($Na_{0,85}K_{0,15}$, *sodium potassium aluminum silicate*) d (Å) = 3,23; силикат магния ($Mg_2(Si_2O_6)$, *magnesium silicate*) d (Å) 3,17. Для порошка керамзита с добавкой шлака 3% (рис. 9) характерны следующие межплоскостные расстояния муллита d (Å) = 4,592; 3,41; 3,032; 2,857; 2,592; 2,453; 2,383; 2,085; 1,979; 1,925; 1,769; 1,729; 1,762; 1,637; 1,603; 1,577; 1,483; 1,414.

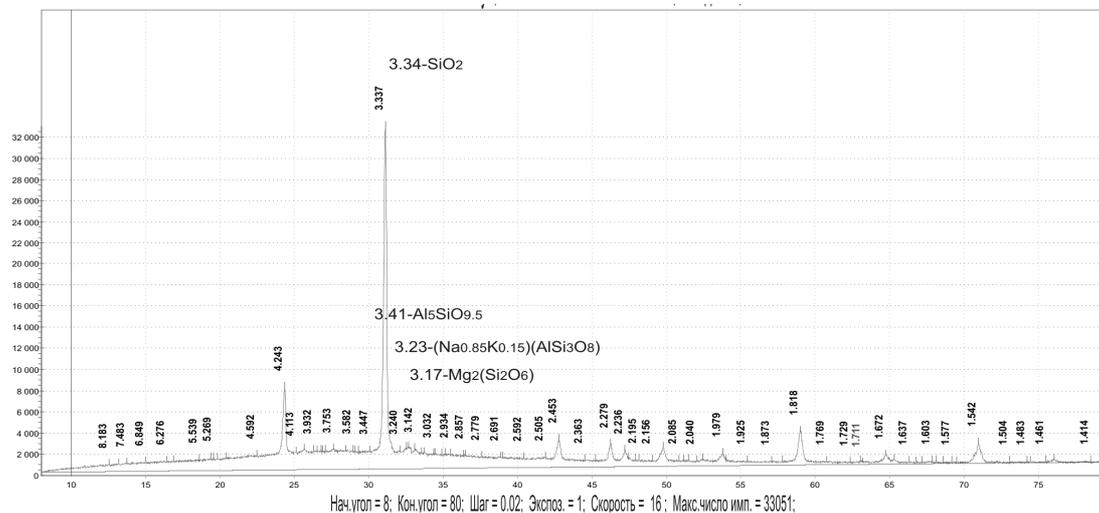


Рис. 9. Рентгенограмма порошка керамзита, полученного при температуре обжига $T = 1170$ °С с добавкой 3% шлака АО «ОМК-Сталь»

Для порошка керамзита без добавки шлака (рис. 10) характерны следующие межплоскостные расстояния муллита d (Å) = 5,545; 4,100;

3,634; 2,808; 1,987; 1,913; 1,837; 1,974; 1,675; 1,612; 1,545; 1,520; 1,455; 1,438.

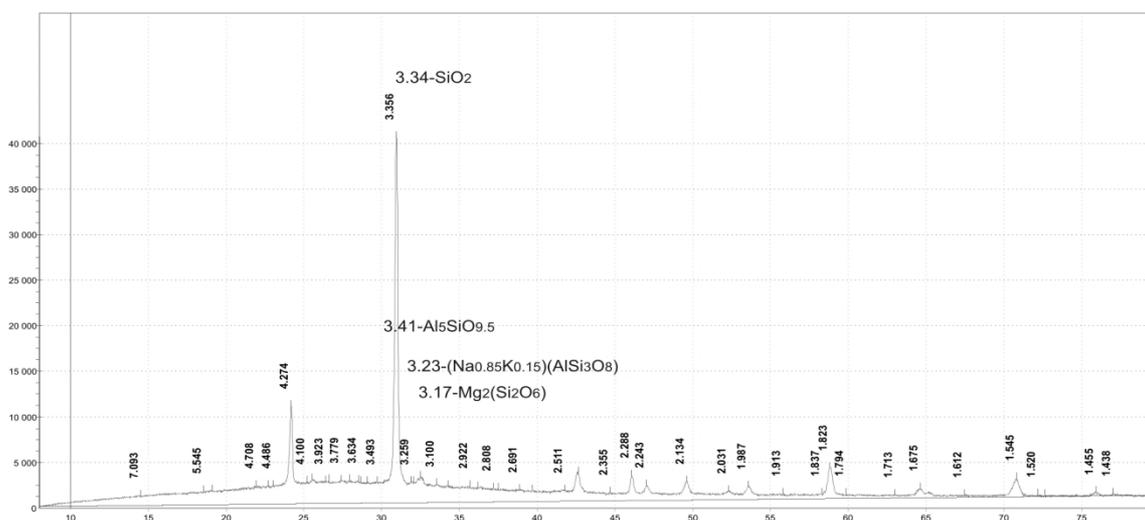


Рис. 10. Рентгенограмма порошка керамзита, полученного при температуре обжига $T = 1170$ °С (без добавки шлака – «контроль»)

Выводы. При проведении исследований был выявлен характер влияния электросталеплавильного шлака в количестве 1,0–10,0 % на физико-механические характеристики керамзита, а также на содержание стеклофазы. Кальций- и магнийсодержащие минералы в составе шихты керамзитового гравия действуют как флюсующие добавки, что приводит к усилению расплава, шлакованию, при этом снижается вспучиваемость гранул, увеличивается размер внутренних пор, появляются каверны, оплавляется поверхность зёрен керамзита, снижается прочности на сдвливание в цилиндре. Рекомендуемое содержание рассматриваемых отходов в керамзите – от 3,0% до 6,0 % при установленной оптимальной температуре обжига 1170 °С. При этом получают образцы с насыпной плотностью 0,339–0,35 т/м³ и прочностью при сдвливании 1,34–1,07 МПа. Марка полученных образцов с электросталеплавильного шлака по прочности по ГОСТ 9757-90 соответствует П50; по насыпной плотности – маркам 350 и 400. Установлена формула минерала муллита, присутствующего на расшифрованных рентгенограммах – Al₂SiO_{9,5}, при этом прослеживается увеличение амплитуды пиков муллита в образце с добавкой шлака. При проведении исследования образцов керамзита на выявление фунгицидного эффекта было установлено, полученный керамзит с добавлением электросталеплавильного шлака не обладает фунгицидным действием, следовательно, использование данного строительного материала в значительной мере не навредит окружающей среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Богдан Е.О., Кичкайло О.В. Производство керамического гравия с использованием гальванических осадков сточных вод // *Стекло и керамика*. 2013. № 7. С. 23–27.
2. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Богдан Е.О., Кичкайло О.В. Использование осадков сточных вод гальванических производств для изготовления керамического кирпича // *Стекло и керамика*. 2013. № 3. С. 7–13.
3. Василенко Т.А. Использование минеральных шламов в производстве строительных материалов // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10032> (дата обращения: 04.05.2016).
4. Тюкавкина В.В., Касиков А.Г., Майорова Е.А., Гуревич Б.И., Нерадовский Ю.Н. Переработка отвальных шлаков медно-никелевого производства с получением кремнеземсодержащих

добавок для вяжущих // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19 (11). С. 13–17.

5. Уфимцев В.М. Конструкционные обжиговые пористые заполнители на техногенном сырье // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2013. № 5. С. 25–29.

6. Сигачев Н.П., Коновалова Н.А., Коннов В.И., Панков П.П., Ефименко Н.С. Эффективность использования золошлаковых отходов Забайкальского края в производстве дорожных цементогрунтов. *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19 (11). С. 24–27.

7. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А., Виноградов М.С., Балина А.А., Петрова Е.В. Разработка основ технологии извлечения ценных компонентов из зольно-шлаковых отходов объектов тепло и электрогенерации // *Экология и промышленность России*. 2013. № 8. С. 9–12.

8. Жарменов А.А., Мырзалиева С.К., Аймбетова Э.О. Использование отходов электрометаллургического производства для получения защитных композиционных материалов // *Стекло и керамика*. 2011. № 8. С. 6–10.

9. Жарменов А.А., Мырзалиева С.К., Аймбетова Э.О. Структура и свойства силикатных композиционных материалов на основе электрокорунда – шлака ниобиевого производства // *Стекло и керамика*. 2012. № 6. С. 25–28.

10. Муртазаев С.Ю., Чернышева Н.В., Аласханов А.Х. Использование золошлаковых смесей ТЭЦ для производства композиционных гипсовых вяжущих // *Экология и промышленность России*. 2013. № 7. С. 26–29.

11. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование отходов нефтедобычи в производстве керамзита // *Экология производства*. 2012. № 8. С. 52–55.

12. Василенко Т.А., Салех-Жафер А.Ж. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием кальцийсодержащих техногенных материалов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1; URL: www.science-education.ru/125-19899 (дата обращения: 04.05.2016).

13. Абдрахимов В.З., Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С., Колпаков А.В., Рошупкина И.Ю. Экологические, теоретические и практические аспекты использования алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения без применения природного традиционного сырья. *Экология и промышленность России*. 2013. № 5. С. 28–32.

14. Макарова, И.А., Рябова О.С. Дисперсное техногенное сырье как основа для получения композиционных керамических материалов //

Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 12. С. 32–33.

15. Панышин А.М., Козлов П.А., Несмелов В.Ю. Оценка и потенциальные возможности переработки различных отходов металлургического производства // Экология и промышленность России. 2013. № 9. С. 21–23.

16. Калмыкова Ю.С. Переработка отвалов доменных шлаков с получением шлакощелочных вяжущих // Экология и промышленность России. 2014. № 3. С. 21–25.

17. Довженко И.Г. Лицевой керамический кирпич светлых тонов с применением отхода черной металлургии // Стекло и керамика. 2011. № 8. С. 11–13.

18. Довженко И.Г. Исследование влияния металлургических шлаков на сушильные свойства керамических масс для производства лицевого кирпича // Стекло и керамика. 2013. № 12. С. 24–27.

19. Танутров И.Н., Свиридова М.Н., Савеня А.Н. Новая технология совместной переработки

техногенных отходов // Известия вузов. Цветная металлургия. 2013. № 1. С. 21–26.

20. Старостина И.В., Лукьянова А.Н. Строительные композиционные материалы на основе модифицированных гипсовых вяжущих, полученных из отходов производства // Фундаментальные исследования. 2013. № 4 (часть 4). С. 818–822.

21. Старостина И.В., Симонов М.М., Пендюрин Е.А., Беседина И.Н. Оценка токсикологических свойств керамзитового гравия с использованием шламов феррованадиевого производства // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5; URL: www.science-education.ru/119-14533 (дата обращения: 15.04.2016).

22. Lebedev M.S., Strokova V.V., Karatsupa S.V., Dmitrieva T.V. Designing of soil-concretes using the kursk magnetic anomaly technogenic raw and waste-lime-based binder for reinforcing of road pavements subgrades. World Applied Sciences Journal. 30 (8): 970–982, 2014.

Vasilenko T.A., Lamakina M.P.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CLAYDITE GRAVEL, PRODUCED USING ELECTRIC STEEL MELTING SLAG

The possibility of expanded clay production, using up to 3.0% of the electric steel melting slag produced at JSC "OMK". It is established that at a temperature of 1170 °C is formed expanded clay with high strength properties and with a high coefficient of expansion. Preliminary thermal preparation of the samples with the addition of slag was 500 °C. The influence of the content in the raw material man-made material – arc-furnace slag in amount of the glass phase and physico-mechanical properties of prototypes of expanded clay gravel. The introduction of additives ranged from 1 to 10 %. Concrete block with slag content of 3.0 %, obtained when the firing temperature is 1170°C, with a bulk density of 339 kg/m³ and compressive strength when compressed to 1.34 MPa can be used for lightweight aggregate concrete blocks. Mark received samples with the addition of slag on the strength of GOST 9757-90 corresponds to the P50; of bulk density of expanded clay complies with the grades 350 and 400. The increasing use of supplements more than 3 % due to the surface melting of gases are unable to come to the surface and the distension of the granules is reduced.

Key words: *expanded clay gravel, electric steel melting slag, water absorption, tensile compression, coefficient of expansion, the average density of the granules, the content of the glass rim, mineral mullite.*

Василенко Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: land-vna78@list.ru

Ламакина Марина Павловна, магистрант кафедры промышленной экологии Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: marischka-pav@yandex.ru