

DOI: 10.12737/22020

¹Бессмертный В.С., д-р техн. наук, проф.,¹Бондаренко Н.И., аспирант,²Соколова О.Н., канд. техн. наук, доц.,¹Бондаренко Д.О., аспирант,¹Слабинская И.А., д-р экон. наук, проф.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Белгородский университет кооперации, экономики и права

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА НА ДООБЖИГОВЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

bondarenko-71@mail.ru

Исследован химический и минералогический состав глинистого сырья Белгородской области. Определены области применения глин Белгородской области по Роговому М.И. Исследованы такие дообжиговые свойства глинистых масс с отходами обогащения железистых кварцитов, как трещиностойкость, воздушная усадка, прочность на сжатие и изгиб, формовочная влажность. Показано, что отходы обогащения железистых кварцитов КМА оказывают положительное влияние на дообжиговые свойства глинистых масс.

Ключевые слова: глинистое сырьё, глина, железистые кварциты, дообжиговые свойства.

В настоящее время актуальной для промышленности строительных материалов является задача технического перевооружения существующих в стране предприятий, расширение сырьевой базы, освоение новых технологий и организация производства более дешевой конкурентоспособной и качественной продукции.

Потребность строительной индустрии в стеновых керамических материалах постоянно возрастает. Однако уровень производства этой продукции значительно отстает от растущих потребностей народного хозяйства. Средняя марка выпускаемого в стране кирпича составляет М100 и М125. Доля марок кирпича М150 и М200 незначительна и составляет 10–15 % без тенденций к росту. Развитие многоэтажного строительства в РФ ставит перед промышленностью строительных материалов задачу производства высококачественного кирпича М200 и М300.

В связи с тем, что при производстве стеновых керамических материалов обычно используется низкокачественное глинистое сырьё, требующее корректировки природного состава, задача по дальнейшему расширению сырьевой базы и корректирующих добавок остается весьма актуальной.

В настоящее время выход отходов промышленности достиг таких объемов, что их следует рассматривать как искусственно созданное человеком техногенное месторождение, которое с успехом можно использовать в промышленности строительных материалов.

Значительные объемы отходов образуются в горнодобывающей, металлургической, энерге-

тической, машиностроительной, химической и деревообрабатывающей отраслях народного хозяйства.

В строительной индустрии накоплен значительный положительный опыт использования отходов промышленности в производстве строительных материалов. Однако до настоящего времени он не носит системный характер.

В настоящее время в России практически не используются результаты прежних научных разработок в части использования отходов различных производств в строительстве и производстве строительных материалов, не ведутся новые исследования [1, 2].

Практическое использование отходов промышленности в производстве стеновой керамики можно рассматривать в трех аспектах. Во-первых, расширение сырьевой базы керамической промышленности с одновременным улучшением качества продукции и снижением ее себестоимости. Во-вторых, утилизация отходов промышленности, которые находятся в отвалах и практически не находят применения. В-третьих, с точки зрения охраны окружающей среды, переработка отходов промышленности позволит ликвидировать ее загрязнение, освободить и использовать значительные площади, занятые ныне отвалами.

Использование различных отходов промышленности в производстве строительных материалов исследовалось в работах отечественных и зарубежных авторов: Августинника А.И., Архипова И.И., Бессмертного В.С., Гропянова В.М., Гуревича М.И., Зубехина А.П., Звягина Б.Б., Ефимова А.И., Михайлова В.И., Мороза

И.И., Минько Н.И., Евтушенко Е.И., Лесовика В.С., Ничипоренко С.П., Котляровой Л.В., Линько В.В., Лепницкой Н.И., Онищенко А.С., Рогового М.И., Смитновой Г.Г. и др.

Исследования, выполненные рядом организаций по использованию отходов обогащения железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (КМА), свидетельствуют о широкой возможности их применения в качестве заполнителя в тяжелых и ячеистых автоклавных бетонах [5–9].

Возможности использования отходов обогащения железистых кварцитов КМА («хвостов») при получении обжиговых материалов изучены недостаточно и не систематизированы [3, 10].

К настоящему времени не было проведено комплексных исследований по влиянию отходов обогащения железистых кварцитов КМА различного зернового состава на дообжиговые и обжиговые свойства стеновой керамики на основе местных источников сырья Белгородской области. Не изучено влияние различных фракций «хвостов» на процессы сушки и спекания глинистых масс. Не исследовано влияние отходов КМА на формирование потребительских свойств стеновой керамики. Нет сведений о фазовых превращениях при спекании керамических масс с отходами обогащения железистых кварцитов КМА, не исследованы макро- и микроструктура.

Основным сырьем для производства стеновой керамики являются глины различного химического и минералогического состава. В качестве объектов исследований выбран широкий

спектр глин Белгородской области, из которых изготавливались модельные образцы и выпускались промышленные партии изделий. Истощение месторождений высококачественных глин и сокращение сырьевой базы приводит к тому, что все в большей мере приходится изыскивать и использовать запесоченные глины и глины с высоким содержанием карбонатных пород. Нами исследовались глины различного минералогического состава: каолинисто-гидрослюдистые, монтмориллонито-гидрослюдистые с примесью каолинита, каолинито-монтмориллонитовые.

В бассейне КМА среди железистых кварцитов наиболее распространены магнетитовые. Железорудные минералы представлены: магнетитом и гематитом (или железный блеск и тонкодисперсный гематит).

В окисленных железистых кварцитах присутствуют: мартит, гидрогематит, гетит, гидрогетит. Главным нерудным минералом является кварц.

Второстепенными минералами являются: кальцит, пирит, доломит, биотит, эгирин, щелочные амфиболы и др. Содержание железа в железистых кварцитах КМА колеблется от 15 до 45 мас. %. Среднее содержание железа в рудных участках 32–40 %.

Только в Белгородской области запасы железных руд оценивают в 23 млрд. т. В качестве объектов исследований были взяты отходы обогащения железистых руд и железистых кварцитов Лебединского месторождения, расположенного в центральной части Старооскольского узла магнитных аномалий в Губкинском районе Белгородской области (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав отходов промышленности

Наименование	Содержание оксидов, масс. %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₃	п.п.п.
Отходы обогащения железистых кварцитов КМА	66,19	9,51	9,06	6,44	3,70	4,08	0,69	0,51	0,16	0,11	5,19

Макро- и микроструктуру стеновой керамики и декоративного покрытия изучали с помощью оптической и электронной микроскопии (ЭМ), а фазовый состав – дифференциально-термическими методами (ДТА), рентгенофазовым методом (РФМ) и инфракрасной спектроскопией (ИК). Химический состав определяли рентгенофлуоресцентным методом.

В работе изучались наиболее важные свойства и показатели глинистого сырья и глинистых масс (табл. 2).

Образцы на основе глин и глинистых масс с отходами обогащения железистых кварцитов

КМА получали методом пластического формования с последующей сушкой и обжигом в муфельной печи при 950–1100 °С. С этой целью готовили кубики с размером грани 30 мм и балочки размером 6,0×1,0×1,0 мм.

Гранулометрический состав глинистого сырья месторождений определяли оптическим, ситовым и пипеточным методами (табл. 3). Глинистое сырье состоит из отдельных частиц различной величины, формы и состава. Гранулометрический состав обуславливает пластичность, усадку, набухание, сопротивление сдвигу и другие свойства глинистого сырья.

Таблица 2

Номенклатура исследуемых свойств и показателей глинистого сырья

№	Объект исследования	Размерность	Наименование свойств и показателей
1	Глинистое сырье	–	Пластичность
		%	Химический состав
		%	Минеральный состав
		Ng и Nr	Оптические характеристики
		мм	Гранулометрический состав
		с	Трещиностойкость
		%	Воздушная усадка
		МПа	Прочность на сжатие
		МПа	Прочность на изгиб
		–	Коэффициент чувствительности к сушке
		%	Формовочная влажность
2	Глинистая масса	с	Трещиностойкость
		%	Воздушная усадка
		МПа	Прочность на сжатие
		МПа	Прочность на изгиб
		–	Коэффициент чувствительности к сушке
		%	Формовочная влажность

Таблица 3

Гранулометрический состав глинистого сырья месторождений Белгородской области

№	Наименование глин	Размерность	Содержание фракций в расчете на абсолютно сухое вещество, масс. %							
			1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,10	0,10–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	менее 0,001
1	Глина Бессоновского месторождения	мм	1,35	3,51	11,93	12,44	21,12	18,98	13,65	17,02
2	Глина Волоконовского месторождения	мм	1,48	2,53	8,07	14,61	29,81	17,58	12,21	13,72
3	Глина Терновского месторождения	мм	1,51	4,05	10,73	15,21	22,15	19,37	10,25	16,73
4	Глина Старооскольского месторождения	мм	1,74	4,36	10,16	12,80	23,10	13,70	14,10	21,04
5	Глина Краснояружского месторождения	мм	1,20	4,05	8,77	11,17	22,10	11,12	14,59	27,95

По результатам исследований гранулометрического состава исследуемые глины были размещены в систему треугольных координат «глина – пылевидные – песок», разработанную Роговым М.И.

В соответствии с классификацией Рогового М.И. глины месторождений Бессоновского, Волоконовского, Терновского и Старооскольского размещаются в поле, предназначенном для тяжелых суглинков; Краснояружского – в поле пластичных пылевидных глин (рис. 1).

При микроскопическом исследовании глин выявлено, что в них содержатся тонкодисперсные глинистые частицы размером до 10 мкм полиминерального состава, содержащие кварц, полевой шпат, карбонаты, оксиды и гидроксиды

железа и незначительное количество других примесей. Кварц в глинах присутствует в виде окатанных зерен. Размеры зерен кварца лежат в пределах 0,05 – 0,1 мм. Контуры и поверхность зерен сильно корродированы. Они непрозрачны и анизотропны с показателем светопреломления $N_g = 1,553$ и $N_r = 1,545$.

Полевой шпат в глинистом сырье наблюдается в виде овальных мутных зерен ортоклаза и микроклина. Размеры зерен составляют в среднем 0,12 мм. Показатель светопреломления: $N_g = 1,525$ и $N_r = 1,516$.

Карбонаты представлены тонкодисперсными кристаллами кальцита с показателем светопреломления $N_g = 1,658$ и $N_r = 1,485$.

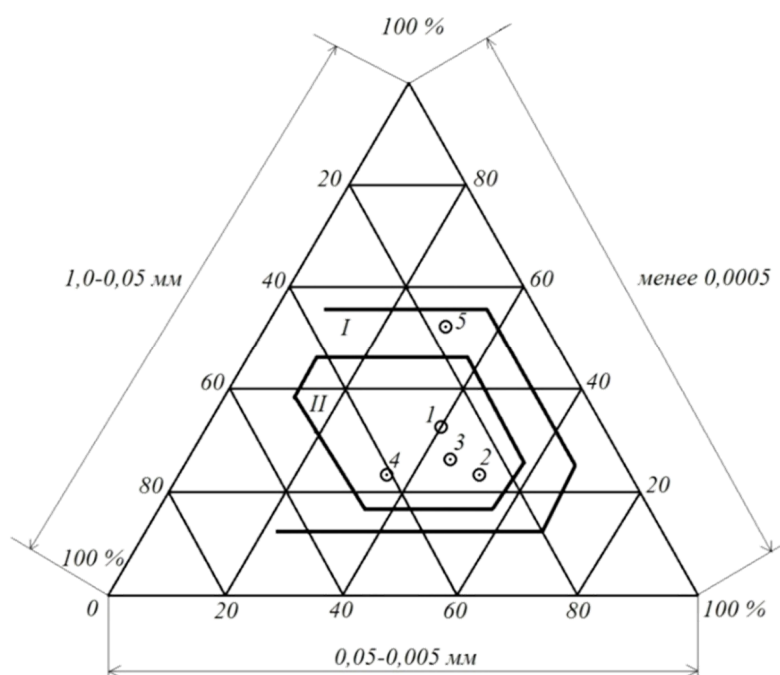


Рис.1. Классификация гранулометрического состава глинистого сырья по Роговому М.И.:

I – глина Бессоновского месторождения; *2* – глина Волоконовского месторождения; *3* – глина Терновского месторождения; *4* – глина Старооскольского месторождения; *5* – глина Краснояружского месторождения;
I и *II* области составов глин, пригодных для получения соответственно полнотелого и пустотелого кирпича и камней

Размеры зерен кальцита колеблются от 0,002 до 0,25 мм. В незначительном количестве присутствует доломит.

Кроме выше указанных минералов в глинах установлено наличие оксидов и гидрооксидов железа и хлоритов.

Выполненный нами рентгенофазовый анализ показал наличие в глинах месторождений Белгородской области каолинита ($d/n = 0,714$;

0,357; 0,237 нм), монтмориллонита ($d/n = 1,530$; 0,450; 0,255 нм), гидрослюда ($d/n = 0,998$; 0,447; 0,256 нм). Значительное количество примесей отражается на дифрактограммах пиками кварца ($d/n = 0,334$; 0,426; 0,181 нм), карбонатов – кальцита ($d/n = 0,303$; 0,228 нм) и доломита ($d/n = 0,228$; 0,219; 0,178 нм), полевых шпатов – микроклина ($d/n = 0,325$; 0,216; 0,180 нм) и ортоклаза ($d/n = 0,402$; 0,380; 0,318 нм).

Таблица 4

Минералогический состав глинистого сырья месторождений Белгородской области

№	Наименование глин	Содержание минералов, масс. %								
		каолинит	монтмориллонит	гидрослюда	хлорит	кварц	полевой шпат	карбонаты	оксиды и гидроксиды железа	органическое вещество
1	Глина Бессоновского месторождения	24–29	–	20–25	–	35–37	2–3	7–10	3–5	2–4
2	Глина Волоконовского месторождения	27–32	8–10	17–22	–	30–35	3–5	8–11	3–6	3–5
3	Глина Терновского месторождения	25–35	–	12–15	–	15–20	10–12	6–9	5–6	2–4
4	Глина Старооскольского месторождения	10–12	20–25	17–19	3–5	15–20	2–4	4–6	4–5	2–3
5	Глина Краснояружского месторождения	8–10	40–45	11–16	3–5	10–14	2–4	1–2	2–4	2–4

Как видно из данных, представленных в таблице 4, по минералогическому составу глины Бессоновского и Терновского месторождения

относятся к каолинито-гидрослюдистым. Глину Волоконовского месторождения можно отнести к каолинито-гидрослюдистым с примесью

монтмориллонита. Глины Старооскольского и Краснояружского месторождения являются монтмориллонито-гидрослюдистыми с примесью каолинита.

Данные рентгенофазового анализа и микроскопических исследований глин подтверждаются результатами дифференциально-термического анализа. Эндотермический эффект в интервале температур 550–600 °С и эндотермический эффект в интервале температур 980–990 °С указывает на наличие в качестве основного минерала – каолинита. Три эндотермических эффекта при температурах 130–160 °С, 680–710 °С, 810–840 °С характерны для монтмориллонита. Третий эндотермический эффект совпадает с разложением кальцита. Эндотермические эффекты в интервалах температур 540–580 °С и 890–910 °С характерны для гидрослюды. Эндотермический эффект при 940–950 °С – ука-

зывает на наличие гидрослюды. Эндозффект в районе 150 °С указывает на удаление межплоскостной воды в кальците.

Таким образом, проведенные нами исследования подтвердили наличие в глинах Белгородских месторождений каолинита, гидрослюды, монтмориллонита и карбонатов.

Химический анализ глинистого сырья показал, что глины в своем составе содержат повышенное содержание оксидов кальция (табл. 5).

Перед испытаниями с целью выявления влияния сушки на качество высушенных образцов, последние подвергались внешнему осмотру. Наличие трещин, посечек и дефектов сушки, как известно [1–3] вызывает снижение значений такого показателя, как прочность сырца после сушки, который является важнейшей характеристикой качества стеновых керамических материалов.

Таблица 5

Химический состав глин Белгородской области

№	Наименование глин	Содержание оксидов, масс. %									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	п.п.п.
1	Глина Бессоновского месторождения	68,6	13,2	4,6	0,3	4,8	1,3	0,96	0,54	0,3	5,4
2	Глина Волоконовского месторождения	65,9	10,7	5,9	0,2	5,7	1,1	0,7	1,5	0,2	8,1
3	Глина Терновского месторождения	61,5	16,9	5,5	0,4	4,1	1,9	1,6	0,9	следы	7,2
4	Глина Старооскольского месторождения	69,1	13,1	4,2	0,1	3,2	1,4	1,3	0,7	следы	6,9
5	Глина Краснояружского месторождения	64,8	18,2	3,5	0,5	0,9	1,2	1,8	0,5	следы	8,6

При внешнем осмотре высушенных образцов характерным для всех исследуемых образцов кирпича, полученного из местных месторождений глинистого сырья, является наличие на гранях таких дефектов сушки, как посечки и трещины, которые снижают физико-механические показатели полуфабриката и готовых изделий.

В ранее цитируемых работах [2, 3] по использованию отходов КМА в керамической промышленности отмечено, что оптимальное их количество в составе масс достигает 20–30 %, однако влияние фракций различных составов на дообжиговые свойства практически не исследовались. Нами предложено снизить количество корректирующих добавок в составах глинистого сырья до 10–15 % за счет изменения их гранулометрического состава, что очень важно для регулирования дообжиговых свойств глинистых

масс. Как показали предварительные эксперименты, использование отходов КМА без разделения их на фракции не дает положительного эффекта. Однако раздельное использование фракций гранулометрического состава 0,06–0,25 мм и 0,25–1,25 мм позволяет существенно повысить дообжиговые свойства глинистого сырья местных месторождений.

Показатели дообжиговых свойств глинистого сырья представлены в табл. 6.

Глины Бессоновского и Волоконовского месторождений относятся к умереннопластичным (число пластичности не более 15). По чувствительности к сушке глинистое сырье всех исследуемых месторождений относится к классу среднечувствительных (Кч находится в пределах 1,2–1,8). По показателю воздушной усадки глинистое сырье можно отнести к разряду среднеусадочного.

Таблица 6

Показатели дообжиговых свойств глинистого сырья месторождений Белгородской области

№	Наименование	Формовочная влажность, масс. %	Чувствительность к сушке по Чижскому А.Ф.	Воздушная линейная усадка	Прочность сырца после сушки (105 °С)	
					Ризг., МПа	Рсжат., МПа
1	Глина Бессоновского месторождения	21,9	1,25	5,2	1,3	5,5
2	Глина Бессоновского месторождения и 5 % отходов	19,3	1,23	4,5	1,6	6,1
3	Глина Бессоновского месторождения и 10 % отходов	18,8	1,20	3,9	1,9	6,4
4	Глина Волоконовского месторождения	22,2	1,29	5,8	1,5	6,0
5	Глина Волоконовского месторождения и 5 % отходов	21,4	1,25	5,6	1,9	6,3
6	Глина Волоконовского месторождения и 10 % отходов	19,4	1,22	4,1	2,1	6,6

По механической прочности на изгиб в сухом состоянии глины Бессоновского и Волоконовского месторождений относят к группе с низкой механической прочностью.

Нами выявлено, что как отощающий компонент, отходы КМА гранулометрического состава 0,25 – 0,06 мм с оптимальным содержанием 10 мас. % в глине Бессоновского месторождения снижают формовочную влажность с $21,0 \pm 0,1$ % до $18,2 \pm 0,1$ % и воздушную усадку с $5,2 \pm 0,1$ % до $3,8 \pm 0,1$ %. Исследование также показало, что отходы обогащения железистых кварцитов КМА понижают чувствительность к сушке и воздушную усадку, повышают трещиностокость и прочность образцов после сушки (105 °С) (табл. 6). Аналогичные результаты были получены для глины Волоконовского месторождения с добавкой до 10% отходов обогащения железистых кварцитов КМА.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить положительное влияние отходов КМА различных фракций на дообжиговые свойства глинистых масс на основе местных низкокачественных источников сырья Белгородской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов В.И., Зельниченко Е.И. Технология изготовления лицевого кирпича из углеотходов // Строительные материалы и конструкции. 1993. № 4. С. 16–17.
2. Ефимов А.И., Немец И.И. Регулирование реотехнологических характеристик глинистых масс железосодержащими отходами // Известия вузов. Строительство. 2000. № 10. С. 53–57.
3. Немец И.И., Ефимов А.И. Влияние отхо-

дов обогащения железистых кварцитов и отходов каолинового волокна на керамические свойства легкоплавких глин // Совершенствование химической технологии строительных материалов: сб. тр. МИСИ и БТИСМ. М., 1981. С. 99–101.

4. Зубехин А.П., Бельмаз Н.С., Филатова Е.В. Фазовый состав керамического кирпича из глин различного состава // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2003. № 2. С.90–92.

5. Лесовик Р.В., Гридчин А.М., Строкова В.В. Состояние и перспективы использования сырьевой базы КМА в стройиндустрии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 3. С. 22–24.

6. Строкова В.В. Современное состояние и экологические проблемы освоения сырьевой базы стройиндустрии региона КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2004. № 8. С. 290.

7. Черкашин Ю.Н., Лесовик Р.В., Сопин Д.С. Высококачественный бетон с использованием сырьевых ресурсов КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 4. С. 21–24.

8. Гридчин А.М., Лесовик Г.А., Авилова Е.Н., Глаголев Е.С. Решение проблемы утилизации техногенного сырья КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 4. С. 7–10.

9. Гридчин А.М., Лесовик Р.В., Ряпухин Н.В. Свойства мелкозернистых бетонов с ис-

пользованием техногенных пород КМА. Белгород: Изд-во БГТУ, 2003. 62 с.

10. Бессмертный В.С., Пучка О.В., Кеменов С.А., Бондаренко Н.И., Табит Салим А.А. Плазмохимическая модификация стеновых строи-

тельных материалов с отходами обогащения железистых кварцитов КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 21–24.

Bessmertniy V.S., Bondarenko N.I., Sokolova O.N., Bondarenko D.O., Slabinskaya I.A.
RESEARCH OF INFLUENCE OF WASTE OF ENRICHMENT OF THE KMA FERRUTEROUS QUARTZITES ON DOOBZHIGOVY PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS

The chemical and mineralogical composition of clay raw materials of the Belgorod region is investigated. Scopes of clays of the Belgorod region on Horn M. I. Issledovana such doobzhigovy properties of clay masses with waste of enrichment of ferruteroous quartzites as crack resistance, air shrinkage, durability on compression and a bend, forming humidity are defined. It is shown that waste of enrichment of the KMA ferruteroous quartzites exerts positive impact on doobzhigovy properties of clay masses.

Key words: *clay raw materials, clay, ferruteroous quartzites, doobzhigovy properties.*

Бессмертный Василий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: vbessmertnyi@mail.ru

Бондаренко Надежда Ивановна, аспирант кафедры технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

Соколова Оксана Николаевна, доцент кафедры товароведения непродовольственных товаров и таможенной экспертизы.

Белгородский университет кооперации, экономики и права.

Адрес: Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, д. 116а.

E-mail: sokolovakseny@rambler.ru

Бондаренко Диана Олеговна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

Слабинская Ирина Александровна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой бухгалтерского учёта и аудита.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: iaslabinskaya@mail.ru