

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 669.054.82.83

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-65=72

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВЫСОКОУГЛЕРОДНЫХ ОТХОДОВ ОТ
ОБОГАЩЕНИЯ И СЖИГАНИЯ УГЛЯ****Черкасова Татьяна Григорьевна, Тихомирова Анастасия Владимировна,
Пилин Максим Олегович, Баранцев Денис Александрович,
Ченская Валентина Васильевна**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

12 октября 2023 г.

Одобрена после
рецензирования:

20 ноября 2023 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2023 г.

Опубликована:

05 декабря 2023 г.

Ключевые слова:угольные отходы, извлечение,
угольный концентрат, хвосты
обогащения, флотация,
гравитационное обогащение**Аннотация.**

На территории Кузбасса расположено более 25 обогатительных фабрик, отходы которых загрязняют окружающую среду. Углеобогащение, в первую очередь высокозольных углей, сопровождается образованием значительного количества шламов, обладающих способностью к самовозгоранию и содержащих экологически опасные вещества, которые не были выделены из угля при проведении обогащения. Помимо крупнотоннажных отходов предприятий теплоэнергетического сектора свой вклад в загрязнение вносят отходы котельных различных предприятий промышленности, причем, как правило, за счет несовершенства котлов, в таких отходах содержится большое количество недожженного углерода. В статье рассмотрена проблема комплексной переработки отходов углеобогащения и углепотребления одного из обогатительных предприятий Кемеровской области – Кузбасса. Цель работы – получение концентрата с минимальной зольностью и хвостовых остатков с максимальной. В рамках исследования определена зольность отходов, гранулометрический состав. Проведены работы по обогащению с выделением угля из отходов углеобогащения и недожога из отходов углепотребления методами флотации с различными реагентами и гравитационного разделения. Для выделения концентрата минимальной зольности наиболее подходит метод гравитационного обогащения. Сделан вывод о том, что для повышения зольности хвоста более эффективна флотация с керосином и сосновым маслом, однако при этом зольность концентрата достаточно высока, что делает его использование в энергетических целях нецелесообразным, к тому же это ведет к потерям минеральной части.

Для цитирования: Черкасова Т.Г., Тихомирова А.В., Пилин М.О., Баранцев Д.А., Ченская В.В. Комплексная переработка высокоуглеродных отходов от обогащения и сжигания угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5 (159). С. 65–72. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-65=72, EDN: UDSAMF

На сегодняшний день промышленное производство является одной из самых развитых сфер жизнедеятельности человека. Однако промышленность является основным загрязнителем окружающей среды.

На территории Кузбасса расположено более 25 обогатительных фабрик, отходы которых загрязняют окружающую среду. Углеобогащение, в первую очередь высокозольных углей, сопровождается образованием значительного количества шламов. Такие шламы обладают способностью к самовозгоранию и содержат экологически опасные вещества, которые не были выделены из угля при проведении обогащения. Часть таких шламов по своим характеристикам (содержание углеродной составляющей) может быть применена в качестве топлива. Например, таковыми являются отходы стадий гравитационного типа обогащения угля – промпродукты тяжелосредной сепарации, отсадки, гидроциклонирования. В частных случаях в качестве топлива после предварительного брикетирования можно использовать отходы флотации. Однако ряд показателей, таких как теплообразующая способность, удельные выбросы токсичных веществ на единицу энергии, степень выгорания топливной составляющей, обуславливает нецелесообразность непосредственного сжигания таких шламов [1].

Крупнотоннажные отходы образуются при сжигании топлива на тепловых электростанциях, при металлургической трансформации руд и пр. При этом происходит концентрация не только объемов золоотвалов, но и химических элементов, соединений и минералов, так как в отходы зачастую попадают сопутствующие полезные ископаемые и другие отходы производства, являющиеся потенциально полезным сырьем. В последнее время во всем мире возрос интерес к накоплениям промышленных отходов. Техногенное накопление химических элементов превращается в один из важных источников минерального сырья [2].

Увеличение количества отходов связано с тем, что в нашей стране используются неэффективные технологии их утилизации и переработки. Значительное количество отходов производства и потребления может быть вовлечено в цикл и быть использовано неоднократно. Кроме того, переработанное вторсырье может быть сопоставимо с первичным продуктом или даже в некоторых случаях превосходить его. Переработка отходов способствует не только повышению эффективности использования различных ресурсов, но и снижению уровня загрязнения окружающей среды.

Так, данные, приведенные по годовым объемам отходов теплоэнергетических предприятий [3-6], которые образуются при сжигании углей в основных странах-производителях электроэнергии, и процент их использования в промышленности свидетельствуют о том, что в России только 10% золошлаковых отходов (ЗШО) находит дальнейшее применение. По сравнению с зарубежными странами утилизация ЗШО в России находится на сравнительно низком уровне.

Помимо крупнотоннажных отходов предприятий теплоэнергетического сектора свой вклад в загрязнение вносят отходы котельных различных предприятий промышленности, причем, как правило, за счет несовершенства котлов, в таких отходах содержится большое количество недожженного углерода, который затрудняет их комплексную переработку с извлечением ценных компонентов.

Таблица 1. Зольность отходов, образующихся на ЦОФ «Березовская»

Table 1. Ash content of waste generated at the central processing plant «Berezovskaya»

Обозначение	Проба	Зольность, %
БФ-1	Отходы фильтр-прессового отделения (ФПО)	71,9
БФ-2	Промпродукт со стадии тяжелосредной сепарации	62,5
БФ-3	Промпродукт со стадии отсадки	43,0
БФ-4	Порода со стадии отсадки	78,0
БФ-5	Порода со стадии тяжелосредной сепарации	83,8
БЦ-КВ	Золошлаковые отходы котельной	69,0

Объектом исследования являлись отходы АО ЦОФ «Березовская» Кемеровской области (высокоуглеродные отходы углеобогащения и ЗШО котельной).

Первоначально при переработке отходов подобного типа необходимо определить содержание углеродной составляющей и максимально убрать ее из системы, так как углерод мешает при дальнейшем выделении ценных компонентов.

Как видно из Таблицы 1, отходы углеобогащения содержат достаточно много углерода, который, казалось бы, можно было бы удалить посредством простого сжигания. Однако ввиду

влажности подобных отходов они очень плохо горят, а кроме того, при сжигании образуются устойчивые к химическому воздействию компоненты. В связи с этим необходима разработка способов выделения углерода посредством классических способов, используемых при обогащении полезных ископаемых. Цель работы – получение концентрата с минимальной зольностью и хвостовых остатков с максимальной.

Образцы БФ-1 и БФ-3 после предварительного измельчения до крупности 0,1 мм подвергались флотационному обогащению. Выявлено, что флотация с классическими реагентами – керосином и сосновым маслом – дает относительно хороший результат только с отходами фильтр-прессового отделения. Отходы ФПО достаточно хорошо подвергаются флотации и с флотореагентами, которые используют непосредственно на ЦОФ «Березовская» (реагенты фирмы «Флотек»). Зольность концентрата после флотации составила 18,82%, выход концентрата до 20%.

Измельченные отходы отсадки методом флотации разделяются плохо, так как совершенно не смачиваются водой даже с добавлением флотационных реагентов и после предварительной агитации в отдельной емкости выделить концентрат с приемлемой зольностью и повысить зольность хвоста не удалось (Таблица 2). Поэтому принято решение о том, что данный метод не рассматривается для выделения из отходов отсадки углеродной составляющей. Необходимо в качестве приоритетного способа рассматривать гравитационное обогащение.

Таблица 2. Зольность концентратов и хвостов после флотации отходов обогащения

ЦОФ «Березовская»

Table 2. Ash content of concentrates and tailings after flotation of enrichment waste at the central processing plant «Berezovskaya»

Проба	Зольность концентрата, %	Зольность хвоста, %
БФ-1	31,1	89,6
БФ-3	43,6	50,3

Отходы отсадки измельчались до крупности 2-5 мм, а затем подвергались разделению по плотности в четыреххлористом углероде (лабораторная имитация тяжелосредней сепарации и отсадки). Зольность концентрата при этом составила 13,5-17,9%, выход – 35%.

Разделению с выделением углеродной составляющей подвергались отходы котельной ЦОФ «Березовская». Как видно из Таблицы 1, зольность данных одного порядка с зольностью отходов углеобогащения, они содержат в своем составе очень много углерода (возможно, из-за неправильной работы котла), хотя как правило, содержание углерода в золошлаках не должно превышать 5%.

Перед проведением лабораторных экспериментов по извлечению недожога был определен гранулометрический состав ЗШО, который характеризуется размером их частиц и соотношением между количеством частиц различных размеров, выраженным в процентах (Таблица 3).

Исследование гранулометрического состава показывает, что большую часть отхода составляют частицы крупностью более 0,31 мм. Также из таблицы видно, что зольность отхода от его гранулометрического состава не зависит.

Таблица 3. Гранулометрический состав золошлаковых отходов котельной ЦОФ «Березовская»

Table 3. Granulometric composition of ash and slag waste of the central processing plant «Berezovskaya»

№	Размер ячеек сита, мм	Зольность, %	Масса остатка порошка на сите, г	Относительное содержание фракции, % $Q = \frac{N}{\sum N} 100$
1	(Дно) 0,05>	68,75	380,93	18,60
2	0,05	69,25	205,19	10,02
3	0,1	67	85,18	4,16
4	0,14	69,25	155,51	7,60
5	0,2	69,5	220,77	10,77
6	0,31	70,25	1000,47	48,85
	Итого:		2048,03	100

Традиционным методом выделения недожога из золошлаковых отходов является флотация [7-14]. После рассеивания на ситах 300 г отхода крупностью менее 0,05 мм, который содержал 32,3% углерода, его смешали с тремя литрами воды при соотношении ЗШО : вода 1:1. Пульпу подвергали агитации, т.е. перемешиванию до подачи в нее флотационных реагентов в течение 3–5 минут с частотой вращения импеллера 2245 об/мин, добавляли 9,6 г (в расчете на зольность и массу навески) собирателя (керосина) и перемешивали 3–5 минут. После чего добавляли сосновое масло 0,35 г и перемешивали в течение 3–5 минут при аэрации 10 л/мин. Флотация проводилась по методике [15].

С помощью реагентов для флотации фирмы «Флотек», которые используются на ЦОФ «Березовская», обогащение провести не удалось, поскольку в данной системе они не образовывали пену (не выделялся концентрат). Результаты приведены в Таблице 4.

В результате проведения флотации и перечистой флотации удалось добиться максимального извлечения недожога. Зольность пустой породы составила 90%, содержание углерода в хвосте 10%.

Таблица 4. Результаты флотационного обогащения золошлаковых отходов котельной ЦОФ «Березовская»
Table 4. The results of flotation enrichment of ash and slag waste central processing plant «Berezovskaya»

м, г	Зольность концентрата, %	Зольность хвоста, %
Основная флотация		
ЗШО	55,2	70,2
Первая перечистная флотация		
Концентрат	69,83	69,25
Хвост	53,75	82
Перечистная флотация хвоста		
Хвост	42	90

Однако при этом зольность самого концентрата остается достаточно высокой, то есть в нем содержится большое количество пустой породы, что делает его использование в энергетических целях нецелесообразным, к тому же это ведет к потерям хвоста. Возможно, что для наиболее полного извлечения углерода в концентрат и повышения зольности пустой породы необходимо дополнительное измельчение отхода.

Таблица 5. Результаты гравитационного обогащения золошлаковых отходов котельной ЦОФ «Березовская»
Table 5. The results of gravity enrichment of ash and slag waste from of the central processing plant «Berezovskaya»

Размер частиц, мм	Плотность раствора, г/см ³	Зольность концентрата, %	Зольность хвоста, %
0,31	1,3	11	76
	1,4	23	81
	1,5	17	88
	1,6	23	79
0,14	1,5	11	86

Для гравитационного обогащения ЗШО выбран материал крупностью 0,31 и 0,14 мм и растворы разных плотностей, полученные смешением четыреххлористого углерода и бензола. Обогащение проводилось следующим образом: 100 г навески крупностью 0,31 мм и 0,14 мм поместили в растворы разных плотностей, состоящие из четыреххлористого углерода и бензола не более, чем на 20 минут, после чего концентрат собирали сверху емкости, хвосты обогащения отфильтровывали, высушили и определяли зольность. Результаты представлены в Таблице 5.

Как видно из Таблицы 5, концентрат с минимальной зольностью – 11% – получен для частиц с крупностью 0,31 мм при плотности 1,3 г/см³, для частиц с крупностью 0,14 мм при плотности 1,5 г/см³.

Навеска 100 г отхода крупностью 0,31 мм, обогащена в растворе плотностью 1,3 г/см³, высушена, затем хвост повторно обогащен в растворе плотностью 1,5 г/см³. Результат эксперимента приведен в Таблице 6.

Таблица 6. Результаты последовательного гравитационного обогащения золошлаковых отходов котельной ЦОФ «Березовская»

Table 6. Results of sequential gravity enrichment of ash and slag wastes of the central processing plant «Berezovskaya»

Размер частиц, мм	Масса навески, г	Плотность раствора, г/см ³	Зольность концентрата, %	Зольность хвоста, %
0,31	100	1,3	11	76
		1,5	12	86

Как видно из Таблицы 6, при повторном обогащении удалось повысить зольность хвоста на 10%. Зольность концентрата при этом практически не изменилась. Возможно, что для лучшего разделения необходимо применять последовательное обогащение при различных плотностях. Таким образом, зольность хвоста после гравитационного обогащения удалось повысить до уровня породы тяжелосредней сепарации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для выделения концентрата минимальной зольности наиболее подходит метод гравитационного обогащения. Для повышения зольности хвоста более эффективна флотация с керосином и сосновым маслом, однако при этом зольность концентрата достаточно высока, что делает его использование в энергетических целях нецелесообразным, к тому же это ведет к потерям минеральной части.

Исследование выполнено за счет гранта Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1194).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З. Использование отходов углеобогащения в производстве керамических материалов – современные приоритеты развития для «зеленой» экономики // Уголь. 2017. №2. С. 54–57.
2. Васильев А. М., Денисов В. В. Перспективные направления утилизации крупнотоннажных отходов энергетических предприятий и углеобогажительных фабрик // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2012. № 2. С. 105–108.
3. Игумина В. А. [и др.] Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // Исследования молодых ученых: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, январь 2020 г.). Казань : Молодой ученый, 2020. С. 21–25.
4. Сибирская Генерирующая компания «Ново-Кемеровская ТЭЦ» официальный сайт. Москва. URL: <https://sibgenco.ru/about/company/generation/novo-kemerovskaya-tets/>
5. Фоменко Н. А. Применение окисленных бурых углей для повышения экологической безопасности утилизации золошлаковых отходов // дисс. ...канд. технич. наук. НИТУ «МИСиС». Москва, 2019. 110 с.
6. Золотова И. Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭЦ // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 123–128.
7. Алексейко Л. Н., Таскин А. В., Черепанов А. А., Юдаков А. А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ гг. Хабаровск и Биробиджан // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2016. № 1 (17). С. 22–34.
8. Явинский А. В., Чулкова И. Л. Переработка золошлаковых отходов для производства дорожных плит // Инновационное развитие архитектурно-строительного комплекса. 2018. 282 с.
9. Белякова Е. А., Москвин Р. Н., Юрова В. С. Эффективное использование отходов ТЭЦ // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 14. С. 181–188.
10. Пат. №2 515 786 Российская Федерация. МПК С04В 18/10. Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций для производства строительных изделий / Ерихемзон-Логвинский Л. Ю.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового

Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт». №2012146269/03: заявл. 31.10.2012; опубл. 20.05.2014.

11. Пат. № 1381100 Российская Федерация. МПК С04В 28/00. Композиция для изготовления стеновых камней / Гасан Ю. Г. 2012146269/03: заявл. 01.04.1986; опубл. 15.03.1988.

12. Гильмияров Д. И., Михайленко А. А., Овчаренко Г.И. Новая технология переработки кислых золошлаковых отходов ТЭЦ в силикатный кирпич. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2014. Т. 14. № 1. С 42–44.

13. Пат. № 2 052 400 Российская Федерация, МПК С03С 10/06; С03С 1/00; С03С 10/00 Способ получения стекломатериалов из золошлаковых отходов / Баякин С. Г.; Аншиц А. Г.; Павлов В. Ф.; Шабанов В. Ф: № 93005278/33: заявл. 01.06.1993: опуб. 20.01.1996.

14. Таскин А. В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности: автореф. дис. ... канд. хим. наук / А. В. Таскин. Владивосток, 2018. 24с.

15. Пат. № 2614003 Российская Федерация, МПК В03В 9/04, В09В 3/00 Способ комплексной переработки золы отвалов тепловых электростанций и установка для комплексной переработки золы отвалов тепловых электростанций / Дельцин Л. М., Рябов Ю. В., Попель О. С., Гаджиев Ш. А. №2016115690: заявл. 22.04.2016: опуб. 22.03.2017.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Черкасова Татьяна Григорьевна, д.х.н., проф., директор института химических и нефтегазовых технологий, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Тихомирова Анастасия Владимировна, к.х.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Пилин Максим Олегович, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Баранцев Денис Александрович, ассистент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kemche@yandex.ru

Ченская Валентина Васильевна, к.х.н., доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: cvv.htnv@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Черкасова Татьяна Григорьевна – постановка исследовательской задачи;

Тихомирова Анастасия Владимировна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Пилин Максим Олегович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Баранцев Денис Александрович - обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста;

Ченская Валентина Васильевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

COMPLEX PROCESSING OF HIGH CARBON WASTE FROM COAL ENRICHMENT AND COMBUSTION

Tatiana G. Cherkasova, Anastasia V. Tikhomirova,
Maxim O. Pilin, Denis A. Barancev,
Valentina V. Chenskaya

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: ctg.htnv@kuzstu.ru

**Article info**

Received:

12 October 2023

Accepted for publication:

20 November 2023

Accepted:

22 November 2023

Published:

05 December 2023

Keywords: coal waste, extraction, coal concentrate, enrichment tailings, flotation, gravity enrichment

Abstract.

There are more than 25 processing plants located on the territory of Kuzbass, the wastes of which pollute the environment. Coal enrichment, primarily of high-ash coals, is accompanied by the formation of a significant amount of sludge, which is capable of spontaneous combustion and contains environmentally hazardous substances that were not separated from coal during the enrichment. In addition to large-tonnage waste from heat and power sector enterprises, waste of boiler houses of various industrial enterprises contributes to pollution, and due to the imperfection of boilers, such wastes contain a large amount of unburned carbon. The article considers the problem of complex processing of waste from coal enrichment and coal consumption of one of the processing enterprises of the Kuzbass. The purpose of the work is to obtain a concentrate with a minimum ash content and tailings with a maximum ash content. Within the framework of the study, the ash content of waste and the granulometric composition were determined. Enrichment works were carried out with the release of coal from coal enrichment waste and underburning from coal consumption waste by flotation methods with various reagents and gravitational separation. The method of gravity enrichment is most suitable for the extraction of a concentrate of minimum ash content. It is concluded that flotation with kerosene and pine oil is more effective to increase the ash content of the tail, however, the ash content of the concentrate is quite high, which makes its use for energy purposes impractical, besides, it leads to losses of the mineral part.

For citation: Cherkasova T.G, Tikhomirova A.V., Pilin M.O., Barancev D.A., Chenskaya V.V. Complex processing of high carbon waste from coal enrichment and combustion. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 5(159):65–72. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-65=72, EDN: UDSAMF

REFERENCES

1. Abdrahimova E.S., Kajrakbaev A.K., Abdrahimov V.Z. Ispol'zovanie othodov ugleobogashheniya v proizvodstve keramicheskikh materialov – sovremennye priority razvitiya dlja «zelenoj» jekonomiki. *Ugol'*. 2017; 2:54–57.
2. Vasil'ev A.M., Denisov V.V. Perspektivnye napravlenija utilizacii krup-notonnaznyh othodov jenergeticheskikh predpriyatij i ugleobogatitel'nyh fabrik. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki*. 2012; 2:105–108.
3. Igumina V.A. [et al.] Analiz sposobov utilizacii zoloshlakovyh othodov. *Issledovaniya molodyh uchenyh: materialy VI Mezhdunar. nauch. konf.* (g. Kazan', janvar' 2020 g.). Kazan': Molodoj uchenyj; 2020.
4. Sibirskaja Generirujushhaja kompanija «Novo-Kemerovskaja TJeC» oficial'nyj sajt. Moskva. URL: <https://sibgenco.ru/about/company/generation/novo-kemerovskaya-tets/>.
5. Fomenko N.A. Primenenie oksilennyh buryh uglej dlja povyshenija jekolo-gicheskoy bezopasnosti utilizacii zoloshlakovyh othodov. Diss. ...kand. tehnic. nauk. NITU «MISiS». Moskva, 2019.
6. Zolotova I.Ju. Benchmarking zarubezhnogo opyta utilizacii produktov szhi-ganija tverdogo topliva ugol'nyh TJeC. *Innovacii i investicii*. 2020; 7:123–128.
7. Aleksejko L.N., Taskin A.V., Cherepanov A.A., Judakov A.A. Kompleksnaja pe-rerabotka zoloshlakovyh othodov TJeC gg. Habarovsk i Birobidzhan. *Sovremennaja nauka: issledovaniya, idei, rezul'taty, tehnologii*. 2016; 1(17):22–34.
8. Javinskij A.V., Chulkova I.L. Pererabotka zoloshlakovyh othodov dlja proizvodstva dorozhnyh plit. *Innovacionnoe razvitie arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. 2018.
9. Beljakova E.A., Moskvina R.N., Jurova V.S. Jeffektivnoe ispol'zovanie othodov TJeC. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. 2018; 14:181–188.
10. Pat. №2 515 786 Rossijskaja Federacija. MPK C04B 18/10. Sposob pererabotki zoloshlakovyh othodov teplovyh jelektrostantsij dlja proizvodstva stroitel'nyh izdelij / Erihemzon-Logvinskij L.Ju.; zajavitel' i patentoobladatel' Otkrytoe akcionerное obshhestvo "Vserossijskij dvazhdy ordena Trudovogo Krasnogo Znameni teplotehnicheskij nauchno-issledovatel'skij institut". 2012146269/03; zajavl. 31.10.2012; opubl. 20.05.2014.

11. Pat. № 1381100 Rossijskaja Federacija, MPK C04B 28/00. Kompozicija dlja izgotovlenija stenovyh kamnej / Gasan Ju.G. 2012146269/03; zajavl. 01.04.1986; opubl. 15.03.1988.

12. Gil'mijarov D.I., Mihajlenko A.A., Ovcharenko G.I. Novaja tehnologija pe-rerabotki kislyh zoloshlakovyh othodov TJeC v silikatnyj kirpich. *Vestnik JuUrGU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2014; 14(1)42–44.

13. Pat. № 2 052 400 Rossijskaja Federacija, MPK C03C 10/06; C03C 1/00; C03C 10/00 Sposob poluchenija steklomaterialov iz zoloshlakovyh othodov: № 93005278/33; zajavl. 01.06.1993; opub. 20.01.1996. Bajakin S.G.; Anshic A.G.; Pavlov V.F.; Shabanov V.F. Tekst: neposredstvennyj.

14. Taskin A.V. Himiko-tehnologicheskie reshenija kompleksnoj pererabotki zoloshlakovyh othodov promyshlennosti: avtoref. dis. ... kand. him. nauk. Vladivostok, 2018.

15. Pat. № 2614003 Rossijskaja Federacija, MPK B03B 9/04, B09B 3/00 Spo-sob kompleksnoj pererabotki zoly otvalov teplovyh jelektrostantsij i ustanovka dlja kompleksnoj pererabotki zoly otvalov teplovyh jelektrostantsij №2016115690: zajavl. 22.04.2016; opub. 22.03.2017. Del'cin L.M., Rjabov Ju.V., Popel' O.S., Gadzhiev Sh.A. Tekst: neposredstvennyj.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Tatiana G. Cherkasova, Dr. Sc. in Chemistry, Professor, Director of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Anastasia V. Tikhomirova, C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: tav.htnv@kuzstu.ru

Maxim O. Pilin, senior lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: pilinmo@kuzstu.ru

Denis A. Barancev, assistant, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: kemche@yandex.ru

Valentina V. Chenskaya, associate Professor of the Department of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials, C. Sc. in Chemistry, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), e-mail: cvv.htnv.@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Tatiana G. Cherkasova – statement of the research problem;

Anastasia V. Tikhomirova – review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text;

Maxim O. Pilin – review of relevant literature, collection and analysis of data, conclusions, writing the text;

Denis A. Barantsev - review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, text writing;

Valentina V. Chenskaya – review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

