

Переработка и утилизация отходов угольных шламов, лежалых хвостов на обогатительных фабриках как метод ресурсосбережения в условиях устойчивого развития*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-79-84>

Многие годы в Кузбассе занимались решением вопросов получения продукции из хвостов обогащения железных руд крупнейших обогатительных фабрик. В статье выявлены проблемы обогащения шламов и разработана безотходная технология переработки угольных шламов, лежалых хвостов углеобогажительных фабрик. Авторами проведено апробирование лежалых хвостов Кузбасса и текущих хвостов углеобогащения на Абашевской, Кузнецкой ЦОФ и Краснобродской ОФ. Был изготовлен и собран обогатительный стенд для проведения полупромышленных испытаний сырья, в ходе проведенных испытаний по переработке лежалых хвостов углеобогажительных фабрик Кузбасса были получены данные для разработки технического регламента, определены выходы продуктов, содержание твердого в каждой операции технологической схемы. По разработанной магнитно-гравитационной технологии авторами подтверждена возможность получения угольного концентрата с показателем зольности менее 20%, железосодержащего концентрата с массовой долей железа не менее 62%. В связи с этим весьма важным вопросом для угледобывающей промышленности является внедрение в переработку гидроотвалов углеобогажительных фабрик, которые относятся к I группе техногенных месторождений углесодержащего сырья. Вовлечение в переработку шламов поможет решить проблемы ресурсосбережения, охраны недр, рационального использования недр и защиты окружающей среды.

Ключевые слова: угольные шламы; ресурсосбережение, энергосберегающие технологии, технологии обогащения, углеобогажительные фабрики.

Для цитирования: Переработка и утилизация отходов угольных шламов, лежалых хвостов на обогатительных фабриках как метод ресурсосбережения в условиях устойчивого развития / С.А. Прокопьев, О.Л. Алексеева, Д.Ю. Савон и др. // Уголь. 2024. № 2. С. 79-84. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-79-84.

ПРОКОПЬЕВ С.А.

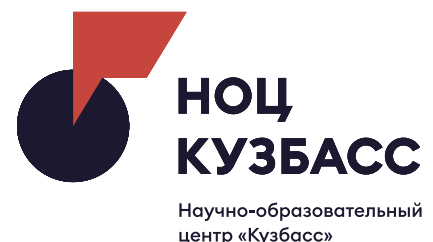
Канд. техн. наук, начальник отдела комплексного использования минерального сырья ИЗК СО РАН, генеральный директор ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: psa@spirit-irk.ru

АЛЕКСЕЕВА О.Л.

Ведущий инженер ИЗК СО РАН, директор по экономике и финансам ООО НПК «Спирит», 664033, г. Иркутск, Россия, e-mail: aol@spirit-irk.ru

САВОН Д.Ю.

Доктор экон. наук, профессор кафедры «Экономика» НИТУ «МИСИС», 119991, г. Москва, Россия, e-mail: di199@yandex.ru



* Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.

САФРОНОВ А.Е.

*Доктор экон. наук, профессор
кафедры «Менеджмент
и бизнес-технологии» ФГБОУ ВО
«Донской государственный
технический университет»,
344010, г. Ростов-на-Дону, Россия,
e-mail: reception@dstu.edu.ru*

ПРОКОПЬЕВ Е.С.

*Младший научный
сотрудник ИЗК СО РАН,
директор по технологиям
и инновациям ООО НПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, Россия,
e-mail: pes@spirit-irk.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсосбережение – это совокупность мер по бережливому и эффективно-му использованию факторов производства. Ресурсосбережение должно обеспечиваться за счет использования ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий, снижения материалоемкости продукции, повышения производительности труда, сокращения затрат на труд, повышения качества продукции, рационального применения труда менеджеров, использования выгоды международного разделения труда. Ведение успешной и эффективной деятельности в области ресурсосбережения способствует росту экономики, повышению ее конкурентоспособности [1, 2].

Основной задачей ресурсосбережения как науки является экономия материальных ресурсов.

Экономия материальных ресурсов – это экономическая категория, которая характеризуется снижением удельного расхода материальных ресурсов на единицу продукции, но без снижения качества и технического уровня продукции [3, 4].

Причинами увеличения расхода материальных ресурсов являются:

- увеличение объема производства;
- значительное исчерпание материальных ресурсов в освоенных районах;
- перенос добычи материальных ресурсов в труднодоступные районы.

Ресурсосбережение должно достигаться на всех этапах производства и использования ресурсов. Для успешной реализации задач такого рода необходимо:

- вести рациональную добычу природного сырья, топлива;
- максимально использовать добытые ресурсы;
- сводить к минимуму потери при транспортировке и хранении;
- наиболее эффективно применять ресурсы в процессе производства или непромышленного потребления;
- выявлять, вести учет и полное использование вторичных ресурсов, образующихся в процессе их первичного потребления;
- использовать в качестве полноценного сырья, источника энергии или тепла;
- применять энергосберегающие технологии в процессе переработки отходов и утилизации отходов;
- государственное регулирование на региональном и федеральном уровнях [5, 6].

Если проанализировать итоги развития российской экономики в последние годы, то становится очевидным, что механизм нерационального ресурсопотребления не только не остановлен, но и увеличил обороты, поскольку спад в выпуске продукции опережает сокращение потребления сырья и материалов. Темпы роста образования производственных отходов опережают темпы роста объемов производства. Хвостохранилища углеобогащительных фабрик переполнены. Необходимо строить новые гидроотвалы. Однако это влечет значительные финансовые расходы и необходимость выводить земли из сельскохозяйственного оборота. При этом огромные гидроотвалы наносят существенный вред окружающей среде.

Поэтому разработка и внедрение технологии обогащения шламов гидроотвалов и лежалых хвостов углеобогащительных фабрик с получением угольного концентрата по экологически чистой технологии при низких энергозатратах позволят избежать этих издержек. Ресурсосбережение позволяет высвобождать и приумножать капитал. Сокращение потерь ресурсов позволяет высвобождать денежные средства и направлять их для решения других проблем. Инвестиции, направленные на сокращение потерь ресурсов, окупаются, по оценкам экспертов, в три раза быстрее, чем инвестиции в увеличение данного ресурса.

Согласно Программе развития обогащения каменного энергетического угля России к 2030 г. объемы обогащения угля вырастут до 345 млн т (рост против уровня 2015 г. в 1,9 раза). Охват обогащением каменных энергетических углей достигнет 85%, в пять раз вырастет производительность труда на

обогащительных фабриках. Обогащению подвергается 85% всех добываемых углей в Печорском бассейне, 68% – в Ростовской области, 60% – в Якутии и Хакасии, 55% – в Кузбассе [7, 8]. В основном строительство обогащительных фабрик при создании новых центров добычи осуществляется на востоке страны. В соответствии с утвержденной Правительством РФ «Программой развития угольной промышленности России на период до 2030 г.» заложены обогащительные мощности на новых месторождениях (Эльгинском, Инаглинском, Денисовском) в Якутии (в конце мая 2023 г. введена в строй первая обогащительная фабрика на Инаглинском ГОКе). Построена новая ОФ «Чегдомынская» в Хабаровском крае на Ургальском месторождении, действует крупнейшая ОФ «Тугнуйская» в Забайкальском крае. Предусматривается строительство мощностей по обогащению 15 млн т угля в Республике Тыва (на Элегестском, Межегейском месторождениях) [9, 10, 11].

В ходе реализации проекта «Переработка хвостов обогащительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата» КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс» на базе шламохранилища Центральной обогащительной фабрики «Кузбасская» угольной компании «Южный Кузбасс» в Междуреченске прошли опытно-промышленные испытания уникальной обогащительной установки, имеющей производительность по исходному сырью 2 т в час. По итогам проведенных испытаний по переработке лежалых хвостов углеобогащительных фабрик Кузбасса были получены данные для разработки технического регламента, определены выходы продуктов, содержание твердого в каждой операции технологической схемы.

По разработанной магнитно-гравитационной технологии подтверждена возможность получения угольного концентрата с показателем зольности – менее 20%, железосо-

держащего концентрата с массовой долей железа не менее 62%, пригодного для применения в металлургической промышленности или использования в тяжелосредней сепарации для обогащения угля. Хвосты обогащения могут быть использованы как песок для строительных работ. При этом из 1 т шлама в среднем можно получить примерно 15-20% товарного угольного концентрата [12, 13].

ПРОЦЕСС БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ, ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ УГЛЕОБОГАЩИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

На основании полученных данных о вещественном составе исходных и композитной проб и данных технологических испытаний была разработана гравитационно-магнитная схема обогащения лежалых хвостов углеобогащительных фабрик (см. рисунок).

Продукты обогащения анализировались по показателю A^d и массовой доле железа.

В результате операции грохочения получен надрешетный продукт с показателем A^d , равным 20,60%. Выход продукта составляет 11,78%. Подрешетный продукт направлялся на операцию сгущения, где выход слива составил 45,32% с показателем A^d , равным 68,24%. Операция винтовой сепарации (ВС) выполнена на песках сгущения, в результате чего удалось получить угольный продукт с выходом 33,14 и показателем A^d , равным 25,26% (см. таблицу).

Породная часть ВС с выходом 9,75% направляется на ММС. Угольный продукт ВС направили на обезвоживание с применением операции грохочения на сетке 125 мкм (выбрана операция грохочения, поскольку угольный продукт представлен зернистым материалом). В результате обезвоживания удалось получить угольный концентрат с показателем A^d , равным 18,90%. Выход составил 20,81%. На ММС была получена (М.Ф.) с выходом 0,66%, где массовая доля железа составила 64,9% [14, 15].

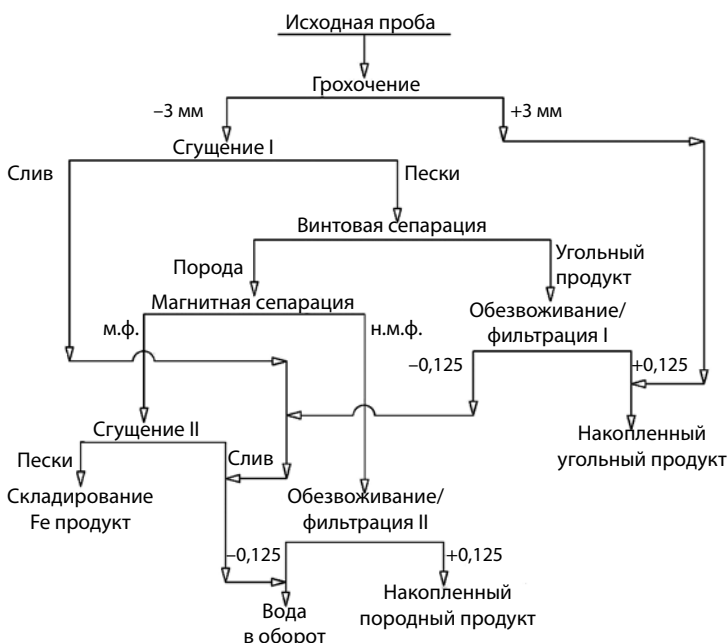
Технологические показатели балансового опыта по операциям технологического процесса показали:

- угольный концентрат с выходом 20,81%. Показатель A^d составляет 18,9%;
- угольный продукт (надрешетный продукт) с показателем A^d , равным 20,60%, выход – 11,78%;
- железосодержащий концентрат (М.Ф.) с массовой долей железа 64,9%, выход продукта – 0,66%.

Результаты балансового опыта подтвердили, что по разработанной гравитационно-магнитной схеме обогащения возможно получить угольный продукт с показателем зольности (A^d) менее 20% и железосодержащий концентрат с массовой долей железа более 62% из лежалых хвостов углеобогащительных фабрик.

Переработка угольных шламов рекомендуется по гравитационно-магнитной схеме обогащения со следующими режимными параметрами и типами обогащительного оборудования:

- рудоподготовка исходной пробы включает в себе две операции: классификация и сушение. Классификация исходного материала выполняется при помощи инерционного грохота марки ГИОб,



Принципиальная схема обогащения лежалых хвостов углеобогащительных фабрик

Schematic processing flow sheet of aged tailings at coal preparation plants

Технологические показатели балансового опыта по операциям технологического процесса

Technological indicators of the balance experience by technological process operations

Продукт обогащения	Выход от исходного, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
		Fe _{общ}	A ^d	Fe _{общ}	A ^d
Грохочение					
Надрешетный продукт	11,78	1,66	20,60	10,54	5,02
Подрешетный продукт	88,22	88,22	52,01	89,46	94,98
Итого: исходные шламы	100,00	100,00	48,31	100,00	100,00
Сгущение					
Слив	45,32	3,19	68,24	48,34	64,02
Пески (питание ВС)	42,89	3,15	34,87	45,11	30,96
Итого: питание ГЦ	88,22	3,17	52,01	93,46	94,98
Винтовая сепарация (ВС)					
Породная часть	9,75	8,82	67,51	28,71	13,62
Угольный продукт	33,14	1,48	25,26	16,41	17,33
Итого: питание ВС	42,89	3,15	34,87	45,11	30,95
Обезвоживание/фильтрация угольного продукта					
Илы обезвоживания	12,33	2,89	36,00	11,89	9,19
Угольный концентрат	20,81	0,65	18,90	4,52	8,14
Итого: угольный продукт	33,14	1,48	25,26	16,41	17,33
Мокрая магнитная сепарация (ММС)					
Магнитная фракция (М.Ф.)	0,66	64,9	100,00	14,37	1,37
Не магнитная фракция	9,08	4,3	65,14	14,34	12,25
Итого: породная часть (концентрат ВС)	9,75	8,82	67,51	28,71	13,625

операция сгущения рабочего класса крупности проводится с применением гидроциклона марки ГЦП-150. Рекомендуемые режимные параметры инерционного грохота марки ГИ06: производительность – 2,5 т/ч, плотность пульпы (% твердого в питании по массе) – 20%. Рекомендуемые режимные параметры гидроциклона марки ГЦП-150: производительность – 12 м³/ч, плотность пульпы (% твердого в питании) – 20%, диаметр песковой насадки – 22 мм;

– гравитационное обогащение продуктивного класса рекомендуется выполнять на ВС марки СВМ-1000 со следующими режимными параметрами: производительность – 2,6 т/ч, плотность пульпы (% твердого в питании) – 25-30%, расход смывной воды – 0,08 м³/ч;

– мокрая магнитная сепарация породной части осуществляется при помощи магнитного сепаратора марки МБС-Л 250×100/ТЗ759 со следующими режимными параметрами: магнитная индукция на поверхности барабана – 80 мТл, производительность – 0,07 т/ч, плотность пульпы (% твердого в питании) – 30-35%.

На основании полученных данных была разработана проектная документация по изготовлению обогатительного стэнда и выполнены полупромышленные испытания, в результате которых были получены угольные концентраты с соответствующими показателями:

1. Полупромышленное испытание № 1: выход продукта – 25,50%; показатель зольности (A^d) – 14,4%; массовая доля общей влаги (W_{гт}) – 5,1%, зафиксировано протоколом проведения полупромышленного испытания.
2. Полупромышленное испытание № 2: выход продукта – 24,64%; показатель зольности (A^d) – 17,8%; массовая доля общей влаги (W_{гт}) – 8,1%, зафиксировано протоколом проведения полупромышленного испытания.
3. Полупромышленное испытание № 3: выход продукта – 25,06%; показатель зольности (A^d) – 18,4%; массовая доля

общей влаги (W_{гт}) – 8,1%, зафиксировано протоколом проведения полупромышленного испытания.

Показатели железосодержащих концентратов полупромышленных испытаний:

1. Полупромышленное испытание № 1: выход продукта – 0,70%; массовая доля железа – 64,72%. Составлен протокол проведения полупромышленного испытания.
2. Полупромышленное испытание № 2: выход продукта – 0,81%; массовая доля железа – 64,34%, что зафиксировано протоколом проведения полупромышленного испытания.
3. Полупромышленное испытание № 3: выход продукта – 0,74%; массовая доля железа – 64,28%. Составлен протокол проведения полупромышленного испытания.

Общий выход хвостов обогащения составляет 60,93%, 61,78% и 61% соответственно.

Переработка хвостов на основании созданной методики и проведения полупромышленного испытания позволит решить проблему получения качественного вторичного топлива с минимальными затратами на добычу по экологически чистой технологии при низких энергозатратах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработана гравитационно-магнитная схема обогащения, включающая в себя:

- классификацию исходного материала с выделением зернистой части исходных шламов крупностью более 2 мм, приемлемой по зольности для присадки к готовому продукту обогащения;
- сгущение рабочего класса крупности с выделением материала с высоким показателем A^d из обогатительного процесса;
- винтовую сепарацию с получением угольного и породного продукта;

– обезвоживание/фильтрацию угольного концентрата и хвостов обогащения;

– мокрую магнитную сепарацию на породном продукте гравитации с получением железосодержащего продукта.

По представленной технологии возможно получить качественное вторичное топливо с показателем A^d менее 20%, железосодержащий концентрат с массовой долей железа не менее 62%, который может быть пригодным для применения в металлургической промышленности или может быть использован в тяжелосредней сепарации для обогащения угля. Хвосты обогащения могут быть использованы как песок для строительных работ, ГОСТ 8736-2014. По итогам этой работы спроектирована опытно-промышленная технологическая линия по получению угольного концентрата из техногенных отходов, которую построят на производственной площадке «Спирита».

Менее чем за год была изготовлена обогатительная установка, имеющая производительность по исходному сырью порядка 2 т/ч. Данная установка не уступает зарубежным аналогам и впервые прошла эксплуатацию на реальном сырье на базе ЦОФ «Кузбасская» компании «Южный Кузбасс». В ходе проведения промышленных испытаний отмечено, что фактическая производительность установки превышает заявленную в два раза (4,6 т/ч против 2 т/ч по паспорту). Также получен углесодержащий концентрат с зольностью 9,3%, что подтверждает результаты, полученные в лабораторных условиях.

Будущая установка, которую разместят на одной из фабрик Кемеровской области, будет перерабатывать 20 т сырья в час. При желании мощности оборудования можно увеличить, а опыт ученых и производственников Иркутска масштабировать на другие регионы. Такая установка позволит определять объемы перерабатываемого сырья и получаемых ценных продуктов, а также непосредственно выгоду от использования оборудования.

В представленном исследовании подтверждается перспективность реализации проекта по вовлечению в переработку лежалых хвостов углеобогатительных фабрик. Переработка хвостов позволит решить несколько актуальных вопросов, а именно возможность получения качественного вторичного топлива с минимальными затратами на добычу по экологически чистой технологии при низких энергозатратах. Также вовлечение в переработку хвостов углеобогатительных фабрик решает проблемы ресурсосбережения, охраны недр, рационального использования сырья и защиты окружающей среды. Кроме того, получаемый попутно железосодержащий концентрат может быть возвращен в обратный процесс обогащения углей. Все это успешно решает вопрос комплексности использования лежалых хвостов углеобогатительных фабрик. Поскольку безопасность и здоровье людей, безусловно, важнее прибыли любого предприятия, то независимо от того, осознают руководители предприятий выгоду от использования вторичного сырья или нет, они должны приложить максимум усилий и сделать все возможное, чтобы оградить окружающую среду от вредного воздействия производственной деятельности. Несмотря на важность решения экологических проблем, разработка хвостохранилищ в условиях рыночных отношений

должна быть, в первую очередь, рентабельной. Это возможно только при использовании безотходной технологии их обогащения с высокой степенью извлечения ценных продуктов и использовании пустой породы для производства товарной продукции.

Список литературы

1. Modern conditions and prospects of Russia's coal mining industry development / V. Samarina, T. Skufina, A. Samarin et al. // *Espacios*. 2019. Vol. 40. No. 16. P. 6.
2. Влияние кризиса на финансовый результат деятельности угольной отрасли / Д.Ю. Савон, А.Е. Сафронов, Н.О. Вихрова и др. // *Уголь*. 2022. № 11. С. 62-68. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-62-68.
3. Современные тенденции развития угольной промышленности с учетом влияния пандемии / А.М. Лялин, А.В. Зогуля, Т.Н. Еремина и др. // *Уголь*. 2021. № 5. С. 62-65. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-62-65.
4. Чернова О.А. Стрессовые факторы устойчивого развития угольной промышленности России // *Journal of Applied Economic Research*. 2022. № 1. С. 49-78. DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003.
5. Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Ershova I.G. Modelling of energy efficiency factors of petrochemical industry // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2020. № 10. P. 465-470. DOI: 10.32479/ijeep.9396.
6. Самарина В.П., Скуфьина Т.П., Савон Д.Ю. Комплексная оценка устойчивого развития горно-металлургических холдингов: проблемы и механизмы их разрешения // *Уголь*. 2021. № 7. С. 20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-20-24.
7. Новоселов С.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Экспортно ориентированная стратегия развития угольных компаний России – основной фактор обеспечения их финансовой устойчивости // *Уголь*. 2017. № 11. С. 54-56. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-54-56.
8. Малышев Ю., Ковальчук А., Рожков А. Угольная отрасль: поиск ориентиров в эпоху перемен // *Энергетическая политика*. 2021. № 2. С. 18-29. DOI: 10.46920/2409-5516-2021-2156-18.
9. Угольная промышленность районов Крайнего Севера: специфические особенности, текущее положение и концепция развития / М.С. Гончаров, Д.Ю. Савон, А.Е. Сафронов и др. // *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2023. № 1. С. 95-107. DOI: 10.37614/2220-802X.1.2023.79.006.
10. Усольцева И.О., Передерин Ю.В., Крайденко Р.И. Обогащение углей: современное состояние технологий // *Ползуновский вестник*. 2017. № 3. С. 131-137.
11. Campbell B. Corporate influence and the global pandemic – reflections from the mining sector. *Revista Brasileira de Política Internacional* [online]. 2022. Vol. 65, No. 1. [Accessed 18 June 2023], e001. DOI: 10.1590/0034-7329202200101.
12. Хамзина Т. Угольный шлам: вторая жизнь // *Глобус*. 2021. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (дата обращения: 15.01.2024).
13. ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.
14. Процесс развития технологий обогащения угля в России и за рубежом / С.А. Прокопьев, О.Л. Алексеева, Д.Ю. Савон и др. // *Уголь*. 2023. № 11. С. 96-101. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-96-101.
15. Прокопьев С.А. Обзор гравитационных технологий обогащения угольных шламов // *Науки о Земле и недропользование*. 2022. 45(4):С. 458-468. DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-4-458-468.

Original Paper

UDC 332.365:658.567 © S.A. Prokopyev, O.L. Alekseeva, D.Yu. Savon, A.E. Safronov, E.S. Prokopyev, 2024
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 79-84
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-79-84>

Title

PROCESSING AND DISPOSAL OF WASTE COAL SLUDGE, STALE TAILINGS AT PROCESSING PLANTS AS A METHOD OF RESOURCE CONSERVATION IN CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Authors

Prokopyev S.A.,^{1,2} Alekseeva O.L.,^{1,2} Savon D.Yu.,³ Safronov A.E.,⁴ Prokopyev E.S.^{1,2}

¹ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, Russian Federation

² LLC Research and Production Company Spirit, Irkutsk, 664033, Russian Federation

³ National Research University of Science and Technology (MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation

⁴ FSBEI HE "Don State Technical University", Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation

Authors information

Prokopyev S.A. PhD (Engineering), Head of the Department of Complex Utilization of Mineral Raw Materials, General Director, e-mail: psa@spirit-irk.ru

Alekseeva O.L. Leading engineer, Director for Economics and Finance, e-mail: aol@spirit-irk.ru

Savon D.Yu. Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Economy, e-mail: di199@yandex.ru

Safronov A.E., Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Management and Business Technologies, e-mail: reception@dstu.edu.ru

Prokopyev E.S. Junior Researcher, Director for Technology and Innovation, e-mail: pes@spirit-irk.ru

Abstract

For many years Kuzbass has been dealing with issues of obtaining products from the tailings of iron ore processing at the largest processing plants. The article identifies the problems of sludge enrichment and develops a waste-free technology for processing coal sludge, stale tailings of coal-processing plants. The authors tested the stale tailings of Kuzbass and the current tailings of coal enrichment at the Abashevskaya, Kuznetsk Central and Krasnobrodskaya CPP. A processing stand was manufactured and assembled for semi-industrial tests of raw materials, during the tests carried out on the processing of stale tailings of Kuzbass coal processing plants, data were obtained for the development of technical regulations, product yields were determined, the solid content in each operation of the technological scheme. According to the developed magnetic gravity technology, the authors confirmed the possibility of obtaining a coal concentrate with an ash content of less than 20%, an iron-containing concentrate with a mass fraction of iron of at least 62%. In this regard, a very important issue for the coal mining industry is the introduction of coal processing plants into the processing of hydraulic dumps, which belong to the I group of man-made deposits of carbonaceous raw materials. Involvement in sludge processing will help solve the problem of resource conservation, protection of the subsoil, rational use of the subsoil and environmental protection.

Keywords

Coal sludge, Resource conservation, Energy-saving technologies, Enrichment technologies, Coal-processing plants.

References

1. Samarina V., Skufina T., Samarin A. & Ushakov D. Modern conditions and prospects of Russia's coal mining industry development. *Espacios*, 2019, Vol. 40, N. (16), pp. 6.
2. Savon D.Yu., Safronov A.E., Vikhrova N.O., Kruzhkova G.V. & Goncharov M.S. Impact of the crisis on the financial performance of the coal industry. *Ugol'*, 2022, (11), pp. 62-68 (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-62-68.
3. Lyalin A.M., Zozulya A.V., Eremina T.N. & Zozulya P.V. Current trends in the development of the coal industry, taking into account the impact of the pandemic. *Ugol'*, 2021, (5), pp. 62-65. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-62-65.
4. Chernova O.A. Stress factors of sustainable development of the Russian coal industry. *Journal of Applied Economic Research*, 2022, (1), pp. 49-78. (In Russ.). DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003.
5. Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S. & Ershova I.G. Modelling of energy efficiency factors of petrochemical industry. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2020, (10), pp. 465-470. DOI: 10.32479/ijeep.9396.

6. Samarina V.P., Skufina T.P. & Savon D.Yu. Comprehensive assessment of sustainable development of mining and metallurgical holdings: problems and mechanisms of their resolution. *Ugol'*, 2021, (7), pp. 20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-20-24.

7. Novoselov S.V., Melnik V.V. & Agafonov V.V. Export-oriented development strategy of the coal companies of Russia – the main factor ensuring their financial stability. *Ugol'*, 2017, (11), pp. 54-56. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-54-56.

8. Malyshev Yu., Kovalchuk A. & Rozhkov A. Coal industry: search for reference points in the times of change. *Energeticheskaya politika*, 2021, (2), pp. 18-29. (In Russ.). DOI: 10.46920/2409-5516-2021-2156-18.

9. Goncharov M.S., Savon D.Yu., Safronov A.E. & Ryadnov V.I. The coal industry in the Far North: distinctive features, current status and a development concept. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*, 2023, (1), pp. 95-107. (In Russ.). DOI: 10.37614/2220-802X.1.2023.79.006.

10. Usoltseva I.O., Perederin Yu.V. & Kraydenko R.I. Coal enrichment: current technological state. *Polzunovskij vestnik*, 2017, (3), pp. 131-137. (In Russ.).

11. Campbell B. Corporate influence and the global pandemic – reflections from the mining sector. *Revista Brasileira de Política Internacional* [online], 2022, Vol. 65, (1). [Accessed 18 June 2023], e001. DOI: 10.1590/0034-7329202200101.

12. Khamzina T. Coal sludge: a second life. *Globus*, 2021, (1). [Electronic resource]. Available at: <https://www.vnedra.ru/tehnologii/ugolnyj-shlam-vtoraya-zhizn-13710/> (accessed: 15.01.2024).

13. ITS 37-2017. Information and technical reference book on the best available technologies. Coal mining and preparation. (In Russ.).

14. Prokopyev S.A., Alekseeva O.L., Savon D.Yu., Kostyukhin Yu.Yu. & Prokopyev E.S. The process of developing coal enrichment technologies in Russia and abroad. *Ugol'*, 2023, (11), pp. 96-101. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-96-101.

15. Prokopyev S.A. Overview of coal sludge gravity concentration technologies. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie*, 2022, (45), pp. 458-468. (In Russ.). DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-4-458-468.

Acknowledgements

The research was performed as part of the Integrated Scientific and Technical Programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № 075-15-2022-1192 "Processing of coal mill tailings in order to obtain commercial coal concentrate" with support of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation on May 11, 2022.

For citation

Prokopyev S.A., Alekseeva O.L., Savon D.Yu., Safronov A.E. & Prokopyev E.S. Processing and disposal of waste coal sludge, stale tailings at processing plants as a method of resource conservation in conditions of sustainable development. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 79-84. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-79-84.

Paper info

Received December 28, 2023

Reviewed January 15, 2024

Accepted January 26, 2024