

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЯ

В.И. Мурко¹, М.П. Баранова², А.И. Папченков³

¹ Сибирский индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, e-mail: sib_eco@kuz.ru

² Красноярский аграрный университет, Красноярск, Россия

³ ОАО «Уральская горнометаллургическая компания», Верхняя Пышма, Россия

Аннотация: Разработана и обоснована технологическая схема комплекса, состоящего из угольной шахты (разреза) и модулей: обогатительного, получения водоугольного топлива, энергетического и получения твердеющей закладочной смеси. Согласно разработанной концепции, добываемый на шахте или разрезе уголь направляется на мокрое обогащение в обогатительный модуль, на котором в результате обогащения получают угольный концентрат, породу (кл. 0–200 мм) и угольный шлам (кл. 0–0,5 (3,0 мм)). Угольный шлам направляется на модуль получения водоугольного топлива, которое подается в котлы энергетического модуля, где вырабатывается электрическая и (или) тепловая энергия для собственных нужд и подачи сторонним потребителям. Порода, выделенная при обогащении угля, и золошлаковые отходы от сжигания водоугольного топлива на энергетической станции направляются на модуль для получения твердеющей закладочной смеси. Приготовленная твердеющая смесь с необходимыми структурно-реологическими характеристиками специальными насосами по трубопроводу транспортируется в выработанные пространства шахты или разреза. Экологическая и экономическая эффективность технологического комплекса обеспечивается за счет применения закладочной смеси из породы золошлаковых отходов для загрузки в выработанное пространство и использования дешевой собственной электроэнергии, вырабатываемой на энергетическом модуле.

Ключевые слова: технологический комплекс, добыча и переработка угля, водоугольное топливо, отходы углеобогащения, золошлаковые отходы, энергетический модуль, твердеющая закладочная смесь.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 23-29-00728.

Для цитирования: Мурко В. И., Баранова М. П., Папченков А. И. Разработка и обоснование инновационного технологического комплекса по добыче и переработке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 16–27. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_16.

Development and substantiation of technological facility of coal mining and processing

V.I. Murko¹, M.P. Baranova², A.I. Papchenkov³

¹ Siberian Industrial University, Novokuznetsk, Russia, e-mail: sib_eco@kuz.ru

² Krasnoyarsk Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

³ Ural Mining and Metallurgical Company, Verhnyy Pyshma, Russia

Abstract: A process design is developed and substantiated for a technological facility composed of a coal mine (open pit mine) and moduli meant for coal preparation, coal–water slurry fuel production, power generation and manufacture of paste backfill. According to the elaborated concept, coal from underground or surface mines goes to wet processing in the coal preparation module which produces coal concentrate, rock refuse (0–200 mm) and coal slurry (0–0.5 (3.0) mm). Coal slurry is forwarded to the module of production of coal–water slurry fuel which is fed in the boilers of the power generation module which generates electrical and (or) heat energy for self-consumption and external supplies. Rock refuse of coal preparation and ash after combustion of coal–water slurry fuel at the power generation plant are sent to the module of manufacture of paste backfill. The produced paste backfill with the required rheological and textural characteristics is transported using special pumps and pipelines to mined-out voids in underground or surface mines. The ecological and economic efficiency of the technological facility results from the use of the backfill made of the rock refuse and ash waste to be placed in mined-out voids, and from the use of the own and cheap electrical energy produced at the power generation module.

Key words: technological facility, coal mining and processing, coal–water slurry fuel, coal preparation refuse, ash, power generation module, paste backfill.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 23-29-00728.

For citation: Murko V. I., Baranova M. P., Papchenkov A. I. Development and substantiation of technological facility of coal mining and processing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023; (12):16-27. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_16.

Введение

Основной вклад в добычу угля по РФ вносит Сибирский федеральный округ (76,3% от общего объема добычи угля в России) [1, 2]. По данным ЦДУ ТЭК, в этом округе произошло увеличение добычи угля (+27,4 млн т, +8,9% к прошлому году). Серьезной проблемой для угольного производства при таких объемах добычи и использования является ущерб для окружающей среды [2]. Внутрипластовые пустоты, образующиеся после выработки пласта, приводят к проседанию грунта, появление кислородсодержащих газовых смесей — к возникновению процесса подпочвенного горения. Уже сейчас многие районы Кузбасса имеют измененный ландшафт с нарушенной и дегенеративной растительностью [3].

В настоящее время известны спосо-

бым способом, согласно которым уголь из шахты или карьера доставляется на обогатительную фабрику, где обогащается с получением угольного концентрата, породы и угольных шламов [4]. Угольный концентрат отгружается потребителям на коксохимические заводы (концентрат коксующихся марок углей) или ТЭЦ и котельные (уголь энергетических марок), порода отправляется в отвал, а угольный шлам в зависимости от зольности и влажности идет в присадку к породе или концентрату. Существенными недостатками данных способов являются значительные безвозвратные потери горючей массы с угольным шламом, направляемым в породный отвал, неизбежное и существенное загрязнение окружающей среды породой и токсичными угольными шламами на длительную временную перспективу и,

Таблица 1

Техническая характеристика отходов обогащения
Technical characteristics of enrichment waste

Обогатительная фабрика, продукт	Годовой объем добычи, тыс. т	Марка угля	Зольность, %	Крупность, мм
«Кедровская» (порода)	500	СС	75	13–200
«Кедровская» (фильтр-кек)	75	СС	29,3	
«Бачатская-Энергетическая» (порода)	150	СС	82,7	13–200
«Бачатская-Коксовая» (порода)	740	КО	67,4	0–200
«Бачатская-Коксовая» (фильтр-кек)	310	КО	22,0	0–3
«Краснобродская-Коксовая» (порода)	700	КО, КС, СС	67,8	0–200
«Краснобродская-Коксовая» (фильтр-кек)	212	КО, КС, СС	25,3	0–0,1
«Вахрушевская» (порода)	150	СС	82	13–200
«Калтанская-Энергетическая» (порода)	550	Т	60,7	0,2–150
«Калтанская-Энергетическая» (фильтр-кек-обезвоженный шлам)	440	Т	20,5	0–0,2

как уже указывалось, нарушение земной поверхности за счет провалов, возникающих при неконтролируемом проседании кровли над шахтовыми выработками, огромных отвалов породы и отработанных карьеров разрезов [5, 6].

Целью данной работы является разработка технологического комплекса по добыче и переработке угля, в котором за счет применения опробованных в стендовых, полупромышленных и промышленных условиях инновационных технологических решений обеспечивается не только реализация концентрата, но и комплексное использование всех продуктов переработки угля. При этом путем использования полученной из угольных отходов дешевой электроэнергии производится ликвидация нарушений земной поверхности закладкой выработанного пространства с применением породы и золошлаковых отходов.

Методика исследований

В качестве исходного сырья могут быть использованы как коксующиеся (марки от Г до СС), так и энергетические угли (Д, ДГ, Т) зольностью до 40%

[1, 7]. При переработке углей на обогатительных фабриках получается концентрат с зольностью 6,0–10,0%, порода с зольностью более 60%, промпродукт с зольностью 25–36%, угольный шлам с влажностью 27,4–42,0% и зольностью от 20,0 до 48,0% с крупностью 0–0,5(3) мм. В табл. 1 представлена характеристика некоторых продуктов обогащения ряда фабрик Кузнецкого бассейна.

В ходе работы исследовали возможность получения из отходов углеобогащения суспензионного водоугольного топлива (ВУТ) с необходимыми структурно-реологическими и теплофизическими характеристиками [6, 8]. Пробы ВУТ анализировали для определения содержания твердой фазы, гранулометрического состава и вязкости. Показатели определяли стандартными методами согласно существующим ГОСТам и нормативным документам.

Далее в полупромышленных условиях проводили сжигание полученных образцов на котельной установке экспериментального стенда [8]. В отобранных образцах золошлаковых отходов, обра-

зующихся при сжигании ВУТ, определяли содержание оксидов кремния, алюминия и кальция, поскольку, как было установлено ранее, главным компонентом золы и является оксид кремния SiO_2 (59,83 – 62,06%), оксиды алюминия Al_2O_3 (20,0 – 21,03%) и кальция CaO (4,64 – 4,81%). Массовая доля элементов фосфора, серы и углерода (P, S, C) в золе составляет менее 1,0%. Это позволяет использовать золу как компонент твердеющей закладки [9].

Из полученных образцов породы и ЗШО готовили смеси для получения твердеющей закладки. Полученные образцы закладки подвергались испытанию на прочность [9].

Разрабатывались технологические регламенты приготовления и сжигания ВУТ, получения твердеющей закладочной смеси с выбором необходимых исходных материалов. Согласно получен-

ным регламентам разрабатывались технологические решения и осуществлялся выбор и компоновка основного технологического оборудования модулей технологического комплекса. Выполнялся расчет технико-экономических показателей их работы [10].

Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены характеристики полученного водоугольного топлива на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения.

Полученные опытные партии приготовленного топлива также сжигались на стендовой установке СибГИУ [11]. В результате сжигания образовывались золошлаковые отходы, химический состав которых представлен в табл. 3.

Как показывают данные табл. 3, химический состав ЗШО аналогичен результатам, полученным ранее [9], что

Таблица 2

Характеристика топлива, приготовленного на основе фильтр-кеков обогатительных фабрик

Characteristics of fuel prepared on the basis of filter cakes of processing plants

Показатель	Технологические комплексы ОФ			
	«Кедровская»	«Бачатская-Коксовая»	«Краснобродская-Коксовая»	«Энергетическая»
Гранулометрический состав, в том числе по классам крупности, %:				
0,355 – 1,00 мм	0,4	0,1	0,3	–
0,250 – 0,355 мм	0,3	0,7	1,5	0,1
0,071 – 0,250 мм	14,9	23,3	21,4	13,6
0 – 0,071 мм	84,4	75,9	76,8	86,3
Средний размер частиц, мм:				
фильтр-кек	0,097	0,214	0,150	0,077
ВУТ	0,070	0,071	0,075	0,074
Массовая доля твердой фазы, %	58,3	58,5	57,8	58,3
Зольность твердой фазы, %	29,3	22,0	25,3	21,2
Эффективная вязкость при скорости сдвига 81 с^{-1} , мПа·с	356	119	148	341
Низшая теплота сгорания ВУТ, МДж/кг	12,6	14,5	13,4	14,7

Таблица 3

Химический состав золы после сжигания фильтр-кеков
Chemical composition of ash after combustion of filter cakes

Элемент	Характеристики проб ЗШО			
	«Кедровская»	«Бачатская-Коксовая»	«Краснобродская-Коксовая»	«Энергетическая»
	массовая доля элемента, %			
Fe ₂ O ₃	7,2	5,5	4,0	3,5
CaO	9,9	1,2	4,7	4,0
SiO ₂	50,7	63,0	61,3	61,3
Al ₂ O ₃	21,0	25,0	22,5	29,4

подтверждает возможность использования ЗШО в качестве компонента твердеющей закладки.

Были проведены исследования по получению закладочной смеси, в состав которой входят золошлаковые материалы ТЭЦ, дробленая порода, цемент и вода. Технологическая характеристика исходных компонентов приведена в табл. 4.

Процентное соотношение исходных компонентов для получения закладочной смеси с требуемыми технологическими показателями составило: золошлаковые отходы – 25%; порода – 35%; цемент 14% и вода – 26%. Основные технологические решения приготовления закладочной смеси заключались в следующем. Золошлаковые отходы классифицировали по кл. 6 мм. Подрешетный продукт классификации направляли на «мокрое» измельчение до кл. –0,200 мм. Измельченный продукт дозированно подавали в смесительный аппарат. Приготовление породы заключалось в дроблении ее до

крупности 0 – 40 мм. Дробленая порода и надрешетный продукт классификации подавались дозированно в бетоносмеситель одновременно с измельченным продуктом. Кроме того, при необходимости на перемешивание поступал цемент в требуемом расчетном количестве. Для предотвращения расслаивания закладочной смеси и поддержания ее в готовом состоянии обычно устанавливается механический или пневматический побудитель, в который поступает смесь после бетоносмесителя.

Основные технико-экономические показатели: удельная энергоемкость получения твердеющей закладки не более 20 – 22 кВтч/т; расход цемента для твердеющей закладки – не более 120 – 160 кг/м³; себестоимость закладочных работ составляет 150 – 155 руб./т добытой горной массы.

Полученные результаты позволили разработать технологический комплекс (рис. 1), который включает угольную

Таблица 4

Технологическая характеристика исходных материалов
Technological characteristics of raw materials

Параметры	Компоненты		
	ЗШО	Порода	Цемент марки М-400
Крупность, мм	0 – 10	0 – 300	0 – 160
Влажность, %	15,0	5,0	–
Плотность, т/м ³	2,0	2,7	3,0

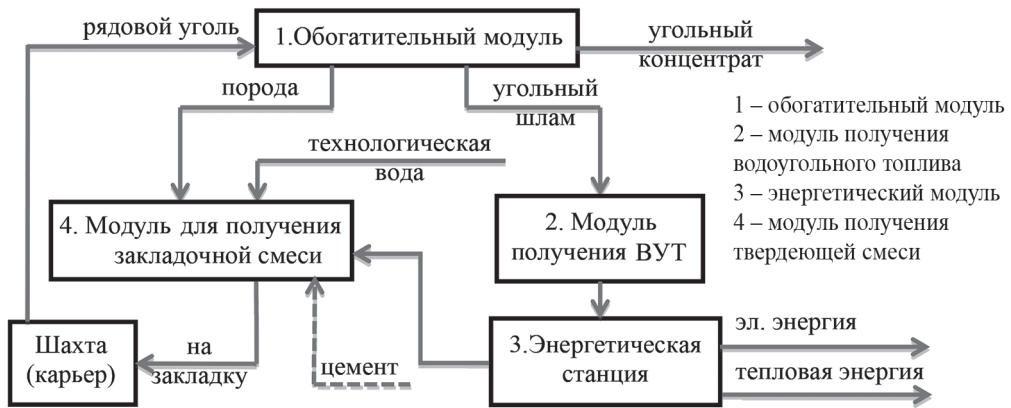


Рис. 1. Схема технологического комплекса по переработке угля
 Fig. 1. The scheme of a technological complex on coal processing

шахту (разрез), обогащительный модуль, модуль получения водоугольного топлива, энергетическую станцию, установку для получения твердеющей закладочной смеси, состоящую из дробильного отделения, отделения мокрого помола с узлом смешивания и активации полученной смеси с насосной станцией.

Разработанный технологический комплекс по добыче и переработке угля работает следующим образом. Добываемый на шахте или разрезе уголь направляется на мокрое обогащение в обогащительный модуль, на котором в результате обогащения получают угольный концентрат, породу (кл. 0 – 200 мм) и угольный шлам (кл. 0 – 0,5 (3,0 мм)). Угольный шлам направляется на модуль получения ВУТ, которое подается в котлы энергетической станции. Энергетическая станция вырабатывает тепловую и (или) электрическую энергию для собственных нужд и подачи сторонним потребителям.

Обогащительный модуль с получением угольного концентрата, породы и угольного шлама

Добываемый на шахте или разрезе уголь направляется на мокрое обогащение в обогащительный модуль, на котором в результате обогащения получают

угольный концентрат, породу (кл. 0 – 200 мм) и угольный шлам (кл. 0 – 0,5 (3,0 мм)). Высокие технико-экономические показатели современных углеобогащительных фабрик (модулей) с мокрым процессом обогащения обеспечиваются отсутствием отделения термической сушки и внешних гидроотстойников. При этом получаемый тонкозернистый шлам с высокими значениями влажности (до 42%) и зольности (20 – 57%) либо присаживается в летнее время к концентрату, либо выводится в отвал вместе с породой.

При высокой зольности угольного шлама обогащительный модуль может быть снабжен участком дообогащения шлама методом грануляции, что позволит стабилизировать качество ВУТ (по зольности) на модуле получения водоугольного топлива [12].

Модуль получения водоугольного топлива из угольных шламов

На данный момент разработаны технологические схемы и оборудование для приготовления суспензионного водоугольного топлива, полученного из тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) обогащительных фабрик шахт Кузбасса. Показано, что на основе

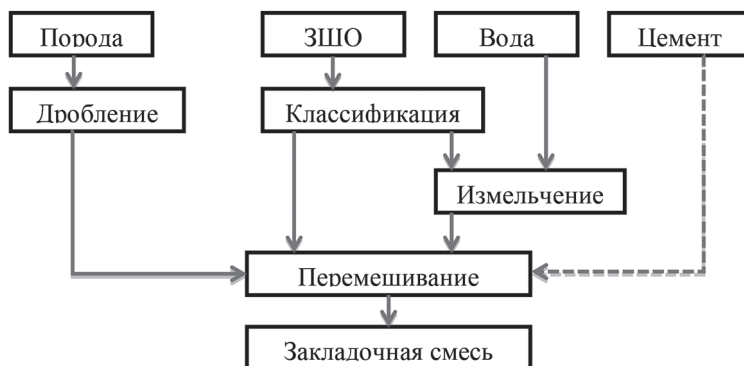


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема модуля получения закладочной смеси

Fig. 2. Process flow diagram of receiving stowage mix

указанных отходов можно приготовить суспензионное водоугольное топливо с содержанием твердой фазы 56 – 60%, с требуемыми структурно-реологическими характеристиками и низшей теплотой сгорания до 13 МДж/кг. Исследованы как структурно-реологические, так и теплофизические свойства суспензионного водоугольного топлива. Водоугольное топливо получали по ранее разработанным рецептурам и регламентам из фильтр-кека, пластифицирующей добавки и, при необходимости, технической воды [13, 14].

Модуль получения твердеющей закладочной смеси

Согласно технологической схеме модуля приготовления закладочной смеси (рис. 2), выработанное пространство заполняется твердеющей закладочной смесью, состоящей из дробленой породы, измельченных ЗШО и цемента (при необходимости). В ходе исследований определен оптимальный состав закладочной смеси, соотношение исходных компонентов и предложена технологическая схема приготовления.

Суть технологии получения закладочной смеси заключается в том, что в процессе ее приготовления обеспечивается бимодальный характер гранулометрического состава частиц твердой фазы,

при котором роль тонких частиц играют измельченные золовые материалы, а крупные частицы представлены дробленой породой [15]. Бимодальный гранулометрический состав позволяет увеличить плотность упаковки частиц и улучшить подвижность смеси за счет «смазывающего эффекта» частиц мелких классов [16]. Предлагаемый технологический прием позволяет обеспечить требуемые структурно-реологические характеристики готовой закладочной смеси.

Энергетический модуль

В настоящее время разработаны эффективные технологические схемы и оборудование для сжигания ВУТ, приготовленного на основе фильтр-кека, в том числе паровые и водогрейные котлы различной мощности, насосное оборудование и др. [17, 18]. Использование вихревой технологии сжигания распыленного ВУТ позволяет обеспечить устойчивое горение топлива в котлах и высокие экологические показатели сжигания. Кроме того, в настоящее время разработаны варианты эффективных угольных ТЭЦ с использованием как паровых, так и газовых турбин [19, 20].

На основании ранее проведенных исследований [1, 3, 8, 11] был сделан технико-экономический расчет создания мини-ТЭЦ с установкой приготовления

Таблица 5

Технико-экономические показатели предлагаемых вариантов мини-ТЭЦ
Technical and economic indicators of the proposed mini TPP options

Наименование показателя	Электрическая мощность	
	6 МВт	12 МВт
Годовой расход ФК на производство ВУТ, тыс. т	107,9	220,0
Годовой расход ВУТ, тыс. т	130,1	265,0
Низшая теплота сгорания ВУТ, Гкал/т	3,4	3,4
Годовое производство электроэнергии, МВт·ч	48 000,0	96 000,0
Капитальные затраты млн руб., в том числе:	148,4	1932,0
- цех приготовления ВУТ, млн руб.	94,3	
- котельное отделение, млн руб.	936,5	
- турбинное отделение, млн руб.	407,7	
Себестоимость ВУТ, руб./т	298,0	220,0
Себестоимость электрической энергии, руб./кВт·ч	3,2	2,5
Годовой экономический эффект, млн руб.	354,5	749,2
Простой срок окупаемости капитальных затрат, год	4,1	2,6
Дисконтированный срок окупаемости, год	5 лет 173 дня	3 года 49 дней
Удельные капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности, тыс. руб.	239,7	161,0

ВУТ и котельным цехом, в котором установлены котлы для сжигания ВУТ. В табл. 5 представлены результаты выполненных расчетов.

Данные табл. 5 показывают, что создание мини-ТЭЦ мощностью 6,5 и 12 МВт экономически наиболее целесообразно при условии когенерации, т.е. с исполь-

зованием как электрической, так и тепловой энергии. Было проведено также сравнение вариантов строительства собственной котельной, работающей на угле и на ВУТ, полученном из фильр-кека. В табл. 6 представлены основные технико-экономические показатели строительства котельной, работающей на ВУТ,

Таблица 6

Основные технико-экономические показатели строительства котельной
The main technical and economic indicators of the boiler house construction

Наименование показателя	Значение
Годовая потребность в ВУТ, тыс. т	22,1
Годовое производство тепловой энергии, Гкал	56 047,0
Расход ВУТ на производство 1 Гкал тепловой энергии, т	0,392
Себестоимость ВУТ на котельной, руб./т	637,0
Снижение себестоимости 1 Гкал тепловой энергии на ВУТ, руб./Гкал	106,0
Экономия эксплуатационных затрат при работе на ВУТ альтернативной котельной, млн руб./год	23,9

теплопроизводительностью 11,2 МВт. При этом капитальные затраты на строительство такой котельной не превышают аналогичные затраты при строительстве обычной угольной котельной даже с учетом создания цеха для приготовления ВУТ, а снижение себестоимости 1 Гкал составляет более 100 руб.

Выводы

Разработана и обоснована технологическая схема комплекса по добыче и переработке угля, включающая угольную шахту или разрез и модули: обо-

гатительный, получения водоугольного топлива, энергетический и получения твердеющей закладочной смеси.

Предлагаемый технологический комплекс позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и обеспечить высокие технико-экономические показатели за счет заполнения образующихся вследствие ведения горных работ пустот и использования собственной дешевой энергии, вырабатываемой на энергетическом модуле, в котором сжигается угольный шлам обогатительного модуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурко В. И., Папченков А. И., Голубин К. А., Шаньшин А. Е. Обоснование технологических решений по переработке тонких угольных шламов на обогатительных фабриках АО УК «Кузбассразрезуголь» // Уголь. — 2022. — № 7. — С. 27–33. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-27-33.

2. Антипенко Л. А., Ермаков А. Ю. Технологические инструкции обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна. — Новосибирск: Гео, 2012. — 318 с.

3. Мурко В. И., Баранова М. П. Обоснование инновационных направлений использования продуктов обогащения угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6. — С. 131–141. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_131.

4. Антипенко Л. А., Рашевский В. В., Артемьев В. Б. Технологическое оборудование для обогащения углей. — М.: Кучково поле, 2010. — 352 с.

5. Шпирт М. Я., Артемьев В. Б., Силютин С. А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. — М.: Горное дело, 2013. — 432 с.

6. Петухов В. Н., Свечникова Н. Ю., Юдина С. В., Горохов А. В., Лавриненко А. А., Харченко В. Ф. Использование отходов флотации угля для энергетических целей в условиях ОАО «ЦОФ» «Беловская» // Кокс и химия. — 2016. — № 5. — С. 38–41.

7. Yuxing Zhang, Zhiqiang Xu, Dinghua Liu, Yang Chen, Wei Zhao, Guanlin Ren The influence of water occurrences in CWSs made of lignite and bituminous coal on slurring performances // Powder Technology. 2022, vol. 398, article 117150. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117150.

8. Мурко В. И., Хямяляйнен В. А., Волков М. А., Баранова М. П. Возможности и перспективы реализации отходов технологии обогащения углей // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 165–172. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-165-172.

9. Шеховцова В. О., Мурко В. И. Обоснование технологии экологически безопасной подземной разработки слепых сближенных рудных залежей с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью на основе золошлаков отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 68–73.

10. Khayrutdinov A. M., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhev V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite waste for non-waste geotechnology // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 867, no. 1, article 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012018.

11. Мурко В. И., Папченков А. И., Голубин К. А., Шаньшин А. Е. Обоснование технологических решений по переработке тонких угольных шламов на обогатительных фабриках АО «УК «Кузбассразрезуголь» // Уголь. — 2022. — № 7. — С. 27–33. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-27-33.

12. Пестряк И. В. Обоснование и разработка эффективных методов кондиционирования оборотных вод обогатительных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 7. — С. 153–159. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-153-159.

13. Мурко В. И., Заостровский А. Н., Аникин А. Е., Темлянцева Е. Н. Получение и использование углемасляного гранулята // Кокс и химия. — 2022. — № 10. — С. 45–50. DOI: 10.52351/00232815_2022_10_45.

14. Xiaofeng Jiang, Shixing Chen, Lifeng Cui, Enle Xu, Hongji Chen, Xianliang Meng, Guoguang Wu Eco-friendly utilization of microplastics for preparing coal water slurry: rheological behavior and dispersion mechanism // Journal of Cleaner Production. 2022, vol. 330, article 129881. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129881.

15. Куликова А. А., Ковалева А. М. Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 144–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

16. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue // International Journal of Mining Science and Technology. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004.

17. Głód K., Lasek J., Słowik K., Zuwała J. Combustion of coal water slurry-technology enabling the achievement of technical minimum of the boiler // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 82, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/20198201004.

18. Бекмуратова Б. Т. Применение водоугольного топлива в теплоэнергетике // Бюллетень науки и практики. — 2020. — Т. 6. — № 12. — С. 261–267. DOI: 10.33619/2414-2948/61/27.

19. Kurgankina M. A., Nyashina G. S., Strizhak P. A. Prospects of thermal power plants switching from traditional fuels to coal-water slurries containing petrochemicals // The Science of the Total Environment. 2019, vol. 671, pp. 568–577. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.349.

20. Алексеенко С. В., Мальцев Л. И., Богомолов А. Р., Чернецкий М. Ю., Кравченко И. В., Кравченко А. И., Лапин Д. А., Шевырев С. А., Лырщиков С. Ю. Результаты опытно-эксплуатационного сжигания водоугольного топлива в водогрейном котле малой мощности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328. — № 12. — С. 16–28. **ПВАБ**

REFERENCES

1. Murko V. I., Papchenkov A. I., Golubin K. A., Shanshin A. E. Justification of technological decisions on processing of thin coal slimes at concentrating factories of JSC «Kuzbassrazrezugol» Coal Company. *Ugol'*. 2022, no. 7, pp. 27–33. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-27-33.

2. Antipenko L. A., Ermakov A. Yu. *Tekhnologicheskie instruktsii obogatitel'nykh fabrik Kuznetskogo basseyna* [Technological instructions of preparation plants of the Kuznetsk mines], Novosibirsk, Geo, 2012, 318 p.

3. Murko V. I., Baranova M. P. Innovation avenues for coal dressing products. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6, pp. 131–141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_131.

4. Antipenko L. A., Rashevskiy V. V., Artem'ev V. B. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya obogashcheniya ugley* [Processing equipment for enrichment of coals], Moscow, Kuchkovo pole, 2010, 352 p.

5. Shpirt M. Ya., Artem'ev V. B., Silyutin S. A. *Ispol'zovanie tverdykh otkhodov dobychi i pererabotki ugley* [Use of solid waste of production and processing of coals], Moscow, Gornoe delo, 2013, 432 p.

6. Petukhov V. N., Svechnikova N. Yu., Yudina S. V., Gorokhov A. V., Lavrinenko A. A., Kharchenko V. F. Use of waste of otation of coal for the power purposes in JSC CPP «Belovskaya». *Koks i khimiya*. 2016, no. 5, pp. 38 – 41. [In Russ].

7. Yuxing Zhang, Zhiqiang Xu, Dinghua Liu, Yang Chen, Wei Zhao, Guanlin Ren The influence of water occurrences in CWSs made of lignite and bituminous coal on slurring performances. *Powder Technology*. 2022, vol. 398, article 117150. DOI: 10.1016/j.powtec.2022.117150.

8. Murko V. I., Khyamyalyainen V. A., Volkov M. A., Baranova M. P. Potential and prospects of coal processing waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 6, pp. 165 – 172. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-165-172.

9. Shekhovtsova V. O., Murko V. I. Substantiation of the technology of environmentally safe underground development of blind close ore deposits with laying of worked-out space with a hardening mixture based on ash and slag sinks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 4, pp. 68 – 73. [In Russ].

10. Khayrutdinov A. M., Kongar-Syuryun Ch., Kowalik T., Faradzhev V. Improvement of the backfilling characteristics by activation of halite waste for non-waste geotechnology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 867, no. 1, article 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/867/1/012018.

11. Murko V. I., Papchenkov A. I., Golubin K. A., Shanshin A. E. Justification of technological solutions for the processing of thin coal sludge at processing plants of Kuzbassrazrezugol Management Company JSC. *Ugol'*. 2022, no. 7, pp. 27 – 33. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-27-33.

12. Pestyak I. V. Development and justification of efficient methods for recycling water conditioning at processing plants. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 7, pp. 153 – 159. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-153-159.

13. Murko V. I., Zaostrovsky A. N., Anikin A. E., Temlyantseva E. N. Receiving and use of uglemaslyany granulate. *Koks i khimiya*. 2022, no. 10, pp. 45 – 50. [In Russ]. DOI: 10.52351/00232815_2022_10_45.

14. Xiaofeng Jiang, Shixing Chen, Lifeng Cui, EnleXu, Hongji Chen, Xianliang Meng, Guoguang Wu Eco-friendly utilization of microplastics for preparing coal water slurry: rheological behavior and dispersion mechanis. *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 330, article 129881. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129881.

15. Kulikova A. A., Kovaleva A. M. Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 144 – 154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

16. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 279 – 289. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004.

17. Głód K., Lasek J., Słowik K., Zuwała J. Combustion of coal water slurry-technology enabling the achievement of technical minimum of the boiler. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 82, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/20198201004.

18. Bekmuratova B. Application of water-based fuel in heat power engineering. *Bulletin of Science and Practice*. 2020, vol. 6, no. 12, pp. 261 – 267. [In Russ]. DOI: 10.33619/2414-2948/61/27.

19. Kurgankina M. A., Nyashina G. S., Strizhak P. A. Prospects of thermal power plants switching from traditional fuels to coal-water slurries containing petrochemicals. *The Science of the Total Environment*. 2019, vol. 671, pp. 568 – 877. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.349.

20. Alekseenko S. V., Maltsev L. I., Bogomolov A. R., Chernetsky M. Yu., Kravchenko I. V., Kravchenko A. I., Lapin D. A., Shevyrev S. A., Lyrshchikov S. Yu. Results of pilot-operational burning of coal-water fuel in a low-power water boiler. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2017, vol. 328, no. 12, pp. 16–28. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мурко Василий Иванович — д-р техн. наук, профессор, e-mail: sib_eco@kuz.ru, Сибирский индустриальный университет, ORCID ID: 0000-0002-6932-1019,
Баранова Марина Петровна — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой, Красноярский государственный аграрный университет, e-mail: marina60@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2700-9721,
Папченков Анатолий Игоревич — канд. техн. наук, начальник управления энергоэффективности и энергоаудита, ОАО «Уральская горнометаллургическая компания», e-mail: a.papchenkov@ugmk.com.
Для контактов: Мурко В.И., e-mail: sib_eco@kuz.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Murko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russia, e-mail: sib_eco@kuz.ru, ORCID ID: 0000-0002-6932-1019,
M.P. Baranova, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of Chair, Krasnoyarsk State Agrarian University, 660049, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: marina60@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2700-9721,
A.I. Papchenkov, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, Ural Mining and Metallurgical Company, 624091, Verhnyy Pyshma, Russia, e-mail: a.papchenkov@ugmk.com.
Corresponding author: V.I. Murko, e-mail: sib_eco@kuz.ru.

Получена редакцией 15.01.2023; получена после рецензии 12.07.2023; принята к печати 10.11.2023.
Received by the editors 15.01.2023; received after the review 12.07.2023; accepted for printing 10.11.2023.

