

ОБОСНОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

В.И. Мурко¹, М.П. Баранова²

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

² Красноярский аграрный университет, Красноярск, Россия

Аннотация: Показана возможность комплексного и более полного использования угля и продуктов его переработки путем получения из тонкодисперсных продуктов после обогащения угля на углеобогащительных фабриках суспензионного водоугольного топлива и брикетов, которые можно сжигать в теплоэнергетических установках. Показано, что на основе указанных отходов можно приготовить суспензионное водоугольное топливо с необходимыми структурно-реологическими характеристиками и низшей теплотой сгорания до 13 МДж/кг. Установлено, что полученная в результате сжигания такого топлива зольная часть также может рассматриваться, как промежуточное сырье для дальнейшего промышленного использования. Произведено опытное брикетирование смеси фильтр-кека разных обогатительных фабрик. Установлено, что для получения качественных брикетов необходимо поддерживать оптимальную влажность исходной смеси около 20%. Разработана технология термической сушки угольных брикетов, приготовленных на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения с использованием дымовых газов. Проведенные исследования доказывают, что существует необходимость изменения в законодательстве в области добычи и переработки угля, в частности, необходимо разработать новые нормы технологического проектирования обогатительных фабрик взамен устаревших временных ВНТП 2-92 в соответствии с современными условиями.

Ключевые слова: отходы углеобогащения, фильтр-кек, водоугольное топливо, брикетирование.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-43-420016/20.

Для цитирования: 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.

Innovation avenues for coal dressing products

V.I. Murko¹, M.P. Baranova²

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

² Krasnoyarsk Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article demonstrates more comprehensive usability of coal and its dressing products in the form of coal–water slurry fuel and briquettes produced from finely dispersed rejects of coal preparation plants and suitable for combustion at thermal power stations. Coal–water slurry fuel manufactured from the mentioned rejects possesses the required structural and rheo-

logical characteristics, and the lowest combustion heat to 13 MJ/kg. Ash after combustion of such fuel can be used as middlings applicable later on at a commercial scale. Experimental briquetting of the mixed filter cake from different preparation plants shows that producing the quality briquettes needs that the initial mixture has an optimal humidity around 20%. The thermal drying technology using smoke gases is developed for coal briquettes manufactured from fine-dispersion rejects of coal dressing. The accomplished research proves the necessity to amend legislation in the sphere of coal production and dressing. In particular, it is required to elaborate new design standards for coal dressing plants instead of temporal and obsolete standards VNTP 2-92 and as consistent with the present-day conditions.

Key words: coal dressing rejects, filter cake, coal-water slurry fuel, briquetting

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 20-43-420016/20.

For citation: Murko V. I., Baranova M. P. Innovation avenues for coal dressing products. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):131-141. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_131.

Введение

В настоящее время актуально использование дешевых источников получения энергии. В связи с этим перспективно получение дешевого топлива, приготовленного из отходов угледобывающих предприятий и углеперерабатывающих фабрик. Рациональная утилизация вышеуказанных продуктов обогащения позволяет, кроме значительного экологического, получить существенный экономический эффект [1, 2].

К сожалению, в системе промышленного использования и переработки углей до настоящего времени отсутствует современная нормативная база, которая способствовала бы эффективному процессу комплексного использования продуктов добычи и переработки угля. Достаточно сказать, что при проектировании углеобогачительных фабрик до сих пор используются временные нормы технологического проектирования углеобогачительных фабрик от 1992 г. (фактически нормы разработаны в 1972 г.). Разработанные институтом ООО «СибНИИУглеобогащение» временные нормы углеобогащения обогачительных фабрик ВНТП-3-18 не являются нормативным

документом, поскольку не приняты соответствующими государственными организациями [3].

Было бы более чем разумно включить в цели законодательных инициатив по экологизации создание законодательных условий для перехода на мировые тенденции повышения экологичности процессов добычи и переработки угля, снижение рисков, связанных с низким уровнем экологической безопасности процессов добычи и переработки угля и увеличением экологических платежей; условий для привлечения инвестиций в экологическую модернизацию процессов добычи и переработки угля; законодательных условий для реализации программы экологизации угольной генерации РФ (ПЭУГ).

Назрело решение пересмотреть понятие «отходы углеобогащения», поскольку для некоторых технологий так называемые «отходы» являются исходным сырьем, переработка которого дает существенный экологический и экономический эффект.

На предприятии ООО «Сибэкотехника» на протяжении достаточно длительного периода проведена большая

теоретическая и экспериментальная работа в масштабах от лабораторных экспериментов до промышленного внедрения по переработке угольных шламов и тонкодисперсных отходов углеобогащения для их непосредственного сжигания в котельных установках по разным технологиям, от получения топливных брикетов до специально разработанной технологии в виде полученных на основе ТДОУ стабильных высококонцентрированных водоугольных суспензий — ВУТ. Утилизация угольной мелочи и отходов углеобогащения путем их сжигания осуществляется во многих странах мира. Данное решение в максимальной степени применительно и оправдано для сжигания такого продукта обогащения, как фильтр-кек, который является одним из главных загрязнителей окружающей среды современных ОФ [1 — 3]. В результате реализации предложенного способа снижается стоимость топливной составляющей в производстве тепловой и (или) электрической энергии, а также сокращаются расходы фабрики на хранение токсичного продукта [3, 4].

Использование угольной мелочи углей энергетических марок, в том числе некондиционной, в России развивается также в направлении получения брикетного топлива. К настоящему времени только в Кузбассе появилось несколько брикетных установок («Сибирский брикет», г. Новокузнецк, ЗАО «СибГПК», г. Междуреченск и др.).

Сжигание ТДОУ в виде брикетов с получением тепловой и (или) электрической энергии является также одним из эффективных направлений их утилизации.

При реализации указанных выше способов утилизации продуктов углеобогащения обеспечивается наиболее эффективное использование всего добытого угля по его прямому назначению. Кроме того, образующаяся при сжига-

нии зола является хорошим компонентом для различных строительных материалов. В результате применения таких технологий утилизации появляется возможность существенно сократить объемы площадей, занятых шламовыми площадками, гидроотвалами и отстойниками, рекультивировать нарушенные земли и тем самым улучшить экологическое состояние окружающей среды. Таким образом, перевод отходов углеобогащения — тонких угольных шламов — в технологически приемлемое топливо позволит не только улучшить экологическую обстановку в регионе, но и получить от этого существенный экономический эффект [5–7].

Целью данной работы являлось обоснование того, что конечными продуктами обогащения угля является не только концентрат, промпродукт и отходы, но и побочная (попутная) продукция: угольный шлам и углесодержащая порода, которая может быть исходным сырьем для получения топлива, строительных и других материалов.

Характеристика исходного сырья

Для изучения возможности приготовления суспензионного водоугольного топлива из тонкодисперсных продуктов использованы пробы фильтр-кека, характеристики которых представлены в таблице.

Анализ данных таблицы показал, что влажность представленных для проведения исследований проб фильтр-кека была стабильно высокой, до 40 — 41%.

Зольность фильтр-кека изменялась как в узком интервале значений, от 30,7–26,8%, так и в широком диапазоне отклонений — до 32,8–48,4%, что приводило к соответствующему изменению низшей теплоты сгорания рабочего топлива, которая, тем не менее, оставалась в рамках допустимых значений (13,75–8,7 МДж/кг).

Техническая характеристика проб фильтр-кека
Specifications of filter cake samples

Показатель	Значения
Влага общая, %	35,2–40,8
Зольность (на сухое состояние топлива), %	30,7–48,4
Сера общая (на сухое состояние топлива), %	0,13–0,52
Выход летучих веществ (на сухое беззольное состояние топлива), %	43,0–41,4
Низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг	13,75–8,7
Гранулометрический состав, мм:	
0,250–3,0	5,7
0,071–0,250	15,1
–0,071	79,2
Итого	100,0

Гранулометрический состав включал классы крупности до 3,0 мм.

Методика исследований

Исследовали возможность получения из тонкодисперсных продуктов суспензионного водоугольного топлива с необходимыми структурно-реологическими и теплофизическими характеристиками [8, 9]. Пробы ВУТ анализировали на массовую долю твердой фазы, гранулометрический состав и вязкость. Статическую стабильность определяли наличием осадка и водоотделения при хранении пробы в статических условиях.

Массовую долю твердой фазы определяли стандартным методом высушивания по ГОСТ 27314-91, либо по ГОСТ 11014-2001, гранулометрический состав — путем мокрого рассева на ситах 0,355; 0,250 и 0,071 мм согласно ГОСТ 2093-82, зольность — по ГОСТ 11022-95. Пересчет результатов анализа для различных состояний топлива определяли по ГОСТ 27313-95.

Далее в полупромышленных условиях проводили сжигание полученных образцов на котельной установке экспериментального стенда, определяли состав и количество вредных выбросов, образующихся при сжигании. На экспериментальном стенде предусмотрена

возможность предварительной подготовки рабочих растворов реагента-пластификатора.

В состав экспериментального стенда входит универсальный вибростенд, смеситель периодического действия, универсальная виброустановка, расходная емкость с мешалкой, насос объемного типа и аккумулирующая емкость [10].

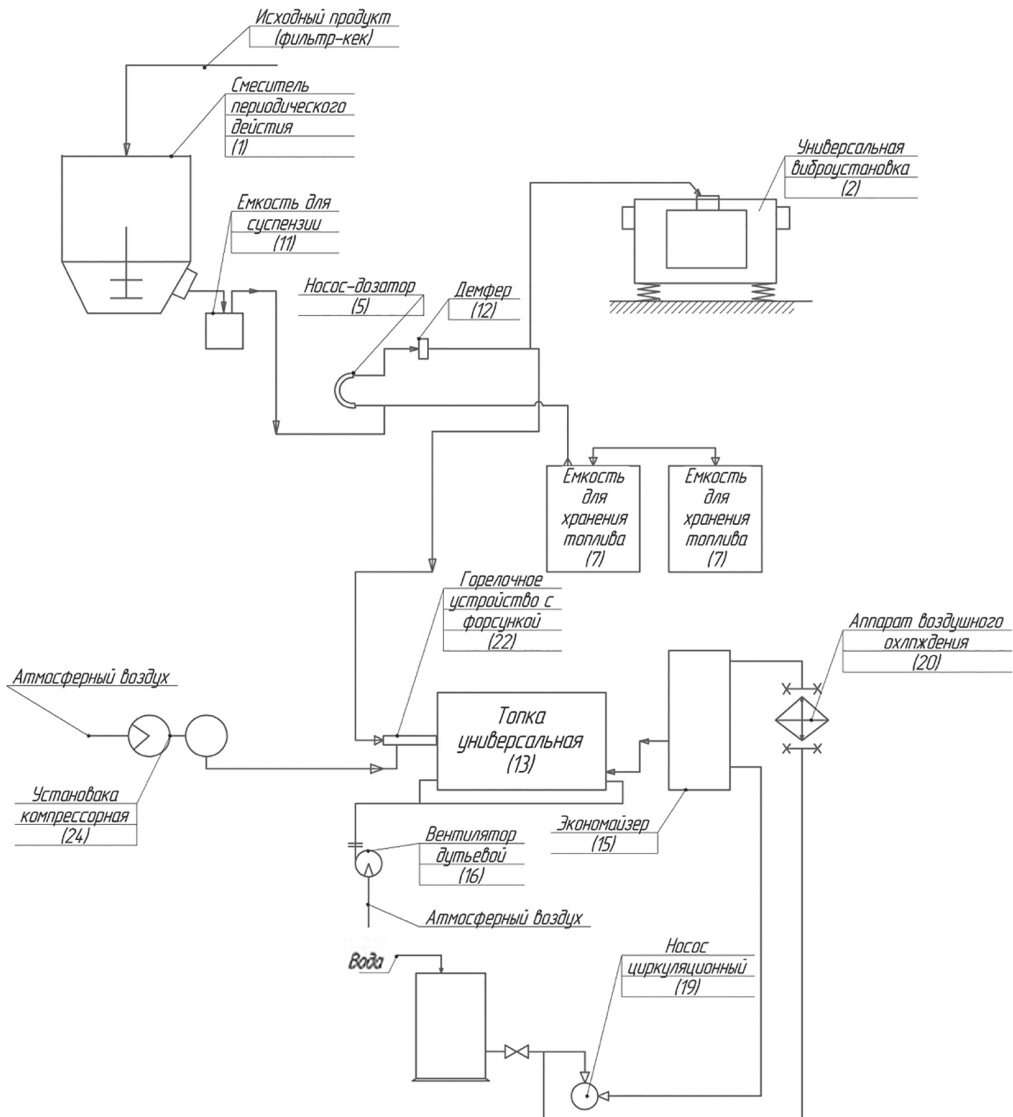
Результаты и обсуждение

Исследованы как структурно-реологические, так и теплофизические свойства суспензионного водоугольного топлива. На основе полученных результатов из усредненных проб фильтр-кека обогатительных фабрик Кузбасса определен тип оптимальной пластифицирующей добавки (состав является неразглашаемым), ее расход — 0,3% на органическую массу топлива при содержании твердой фазы 57,0÷58%.

Приготовление водоугольного топлива из фильтр-кека. Опытные партии ВУТ из фильтр-кека готовили и сжигали на экспериментальном стенде ФГБОУ ВО «КузГТУ», который имеет два участка — участок подготовки угольного топлива и участок сжигания полученного топлива с оборудованием для определения состава и количества вредных выбросов в образующихся дымовых газах

[10, 11]. На рис. 1 представлена схема технологической линии экспериментального стенда по получению и сжиганию угольного топлива. При получении угольного топлива фильтр-кек, как исходное вещество, т.е. сырье, и вод-

ный раствор реагента-пластификатора смешивали в смесителе периодического действия 1. Полученная суспензия накапливалась в емкости 3, далее насосом 4 подавалась на 2 доизмельчение и дополнительное перемешивание. При-



- 1 — смеситель периодического действия; 2 — универсальная вибромельница; 3 — емкости; 4 — насос; 5 — емкости хранения водоугольного топлива; 6 — топочное устройство универсальное; 7 — экономизер; 8 — циркуляционный насос; 9 — аппараты воздушного отопления; 10 — демпфер; 11 — форсунка пневмомеханическая специальной конструкции; 12 — компрессор; 13 — дутьевой вентилятор

Рис. 1. Технологическая схема экспериментального стенда

Fig. 1. Testing machine flow diagram

готовленное топливо хранили в емкости 5.

Водоугольное топливо получали по ранее разработанным рецептурам и регламентам из фильтр-кека, пластифицирующей добавки и, при необходимости, технической воды [9]. В процессе приготовления ВУТ получены следующие характеристики топлива:

- крупность частиц — 0–0,200 мм;
- массовая доля твердой фазы — 56,6–58,6%;
- зольность твердой фазы — 26,0–48,4%;
- эффективная вязкость при скорости сдвига 81 с^{-1} — 119–444 мПа·с;
- низшая теплота сгорания — 8,24–12,72 (1967–3037) МДж/кг (ккал/кг);
- расход топлива на производство 1 МВт (1 Гкал/ч) — 0,361 (0,420) т;
- КПД работы котла — 85%.

Производительность установки по суспензии — от 0,155 до 0,217 т/ч с учетом крупности частиц в исходной суспензии. При таком режиме работы выход класса +0,200 мм в суспензии не превышал ограничения ($R_{250} \leq 5\%$) и составлял 1,4–4,2% при массовой доле твердой фазы 57,0%, повышение которой в ВУТ до 58,0–58,5% технологически возможно. Однако такое топливо при хранении структурируется, поэтому его необходимо сжигать непосредственно после приготовления. Для продолжительного срока хранения рекомендуется готовить суспензионное водоугольное топливо с массовой долей твердой фазы не более 57,0% [8, 9].

Сжигание опытных ВУТ и определение состава и количества вредных выбросов в отходящих газах. Все партии водоугольного топлива, полученные для проведения экспериментов, имели требуемые для сжигания теплофизические и структурно-реологические характеристики. Процесс сжигания проводили в топке универсальной конструкции 6

(рис. 1), которая сообщается газоходом с экономайзером 7. Максимальная тепловая мощность, снимаемая в экономайзере, составляла 0,63–0,65 МВт. Циркуляция воды между экономайзером и аппаратами воздушного охлаждения 9 обеспечивалась циркуляционным насосом 8. Подача топлива из расходных емкостей ВУТ 5 к форсуночному узлу вихревой топки 6 производилась насосом-дозатором. Для сглаживания пульсаций давления насоса использовался демпфер 10. После прогрева топочного пространства через пневмомеханическую форсунку специальной конструкции, установленную в горелочном устройстве 11 топливо подавалось в камеру сжигания. Для распыления топлива применялся сжатый воздух от компрессорной установки 12. Подача распыленного ВУТ насосом и сжатого воздуха компрессором через форсунку горелочного устройства, так же, как и дутьевого воздуха дутьевым вентилятором 13, в топку через соответствующие сопла осуществлялась тангенциально, что обеспечивало образование огненного вихря и устойчивое горение топлива. При температуре в топке 900–950 °С ВУТ горит самостоятельно, без подсветки твердым топливом.

Эвакуация дымовых газов из топки в экономайзер 7 и далее по тракту осуществлялась дымососом. Далее дымовые газы шли в пылеуловитель и выбрасывались в атмосферу через дымовую трубу.

Зола

Исследования, проведенные в температурном режиме до 1100 °С, показали, что зола, образующаяся в процессе сжигания используемых топлив, не плавится. Отложения золы в виде наростов на стенах топки, равно как и отложения на подине, не наблюдались. Вся зола удалялась из топки с дымогазовым потоком,

после чего в системе дымогазоочистки пыль эффективно отделялась от газовой фазы и извлекалась для утилизации. Для анализа на химический состав, а также на полноту выгорания, пыль отбирали из циклона. Все партии топлива мало различались по величине недожога, величина мехнедожога не превышала 5,0%. Для оценки состава золы, полученной после сжигания топлива из фильтр-кека, использовался сканирующий (одноканальный) спектрометр XRF-1800 (Shimadzu, Япония) с рентгеновской трубкой с родиевым анодом напряжением 40 кВ и силой тока 95 мА. Время счета для всех элементов 552 с, при этом расчет осуществлялся методом фундаментальных параметров.

Сжигали опытные образцы топлива, полученные из смесей фильтр-кеков разных обогатительных фабрик, таких как ОФ «Комсомольская» и «Кирова». Анализ проб золы после сжигания этих образцов показал, что главным компонентом золы является оксид кремния SiO_2 (59,83–62,06%). Далее в составе золы присутствуют оксиды: алюминия Al_2O_3 (20,0–21,03%), кальция CaO (4,64–4,81%), железа Fe_2O_3 (3,61–3,20%), калия K_2O (3,25–3,73%), магния MgO (1,45–1,42%), натрия Na_2O (1,70–1,58%), и в небольшом количестве другие оксиды, содержание которых менее 1,0% (TiO_2 , BaO , SrO , MnO , CuO), и менее 0,1% (Co_2O_3 , ZnO , Rb_2O , Cr_2O_3 , NiO). Массовая доля элементов (P, S, C) в золе составляет менее 1,0% [12].

Состав золы показывает, что она может использоваться как добавка для производства цементов и других строительных материалов, а шлаки могут применяться в качестве теплоизоляционного материала и как заполнители для легких бетонов и кирпича в соответствии с ГОСТ 25818-2017. Возможно применение в составе тампонажных суспензий, используемых при упрочнении

горных пород, и выполнять роль пластификаторов и регуляторов выхода камня (50–10% от массы цемента); активной минеральной добавки или инертного заполнителя (10–40% от массы цемента) и заменителя части вяжущего (40–80% в пересчете на массу твердой фазы) [13].

В ходе испытаний проводились замеры газовых выбросов с использованием газоанализатора Testo 300 XXL.

Анализ состава и количества вредных выбросов при сжигании приготовленных образцов топлива показал, что содержание твердых частиц в дымовых газах составило не более 170–200 при ПДК 245 мг/м^3 (ГОСТ Р50831-95); CO не более 75 при ПДК 370 мг/м^3 ; NO_x – не более 250 при ПДК 730 мг/м^3 ; SO_2 – не более 200 при ПДК – 1250 мг/м^3 ; а ПАУ (бенз(а)пирена) – менее $0,1 \cdot 10^{-3}$ мг/м^3 , что свидетельствует о существенном снижении допустимых величин выбросов для угольных котлов при использовании высокозольного топлива.

На основании полученных данных разработаны технологические регламенты приготовления и сжигания суспензионного водоугольного топлива, полученного на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) обогатительных фабрик.

Брикетирование

Для подтверждения возможности комплексной переработки фильтр-кеков была исследована возможность получения из них топливных брикетов и определены условия их производства. Для исследований кинетики сушки угольных брикетов предварительно вручную готовилась брикетная смесь. В качестве исходного сырья использовали фильтр-кек с характеристиками, представленными в таблице. Брикетирование было произведено на малой промышленной шнекопоршневой установке с прессом БТ.ШП 50.0 (рис. 2), после механоакти-



Рис. 2. Получение брикетов

Fig. 2. Briquetting

вазии. Проведенные исследования по брикетированию смеси показали возможность приготовления брикетов требуемого качества. Все полученные брикеты сохраняли свою форму в течение определенного времени.

На основании ранее проведенных экспериментальных исследований характеристик тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) разных обогатительных фабрик [3, 5, 12] была определена влажность брикетной смеси, которая должна быть ориентировочно не более 20,0%, определен режим прессования. Поскольку важным фактором, влияющим на характеристики полученного брикета является скорость сушки, были проведены исследования процесса сушки полученных брикетов отходящими горячими газами при температурах греющей среды 110, 130 и 160 °С на анализаторе влажности МА-35. Для установления предельных температур сушки (от 160 до 250 °С) в муфельной печи сушку брикета начинали сразу после прессования. Показано, что характер убыли массы при температуре выше 220 °С свойственен для начала выхода летучих веществ. Чтобы обеспечить взрывопожаробезопасность процесса, реко-

мендуется вести сушку при температуре греющей среды не выше 200–220 °С.

Особенностью такого исследования является определение зависимости изменения температуры внутренней области брикета от температуры греющей среды. Температуру внутренней части образца измеряли термопарой. Спай термопары помещали в зону, близкую к оси брикета на удалении от концов, превышающем диаметр брикета. Размеры брикетов: диаметр 30 мм, длина 60 мм. При температуре греющей среды менее 180 °С время прогрева длительное, температура в центре образца достигает значений, превышающих 100 °С, через час после помещения образца в греющую среду. Таким образом, при расчете сушильной установки целесообразно принять, что требуемое время для высушивания составляет 60 мин.

Таким образом, проведенные исследования в некоторой степени доказывают, что существует необходимость изменения в законодательстве в области добычи и переработки угля, в частности, необходимо разработать новые нормы технологического проектирования обогатительных фабрик взамен устаревших временных ВНТП 2-92 в соот-

ветствии с современными условиями. Признать угольные шламы, в том числе фильтр-кеки ОФ и сортировочных установок, попутной продукцией. При проектировании новых/реконструируемых ОФ и комплексов по переработке угля признать технологические комплексы по переработке попутной продукции — угольных шламов — приоритетными по отношению к объектам размещения отходов и рассматривать их с точки зрения экономической целесообразности и обеспечения экологической безопасности. Внести данные требования в новые правила проектирования ОФ.

Выводы

Показана возможность комплексно и более полного использования угля и продуктов его переработки путем получения из тонкодисперсных продуктов после обогащения угля на углеобогажительных фабриках суспензионного водоугольного топлива и брикетов, которые можно сжигать в теплоэнергетических установках. Разработаны технология и техническое обеспечение для приготовления и сжигания топлива из отходов углеобогащения, в частности, фильтр-кеков обогажительных фабрик Кузбасса. Показано, что на основе указанных отходов можно приготовить суспензионное водоугольное топливо с необходимыми структурно-реологическими характеристиками и низшей теплотой

сгорания до 14 МДж/кг. Установлено, что полученная в результате сжигания такого топлива зольная часть также может рассматриваться как промежуточное сырье для дальнейшего промышленного использования. Произведено опытное брикетирование смеси фильтр-кека разных обогажительных фабрик. Установлено, что для получения качественных брикетов необходимо поддерживать оптимальную влажность исходной смеси около 20%. Разработана технология термической сушки угольных брикетов, приготовленных на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения с использованием дымовых газов.

Проведенные исследования показывают, что существует необходимость изменения в законодательстве в области добычи и переработки угля, в частности, необходимо внести изменения или разработать новые нормы технологического проектирования обогажительных фабрик взамен устаревших временных ВНТП 2-92.

Указанные изменения должны касаться:

- введения нового термина для угольных шламов — побочный продукт обогащения, т.е. образующиеся тонкодисперсные угольные шламы являются не отходами, а побочным продуктом процесса обогащения;
- рекомендаций по использованию побочного продукта обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *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.
3. *Мурко В. И., Хмяляйнен 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.

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

5. Мурко В. И., Федяев В. И., Айнетдинов Х. Л., Яковенко А. В., Воскобойников П. С. Совершенствование технологического комплекса по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива на основе отходов углеобогащения // Уголь. — 2013. — № 4. — С. 50–52.

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

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


8. 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.

9. 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.

10. 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, no. 2, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/20198201004.

11. Alaa M. Musalam, Abdel Fattah A. Qaraman The thermal behavior of the coal-water fuel (CWF) // International Journal of Energy and Environmental Research. 2016, vol. 4, no. 3, pp. 27–36.

12. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ash-and-slag wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 41, no. 3, article 01042. DOI:10.1051/e3sconf/20184101042.

13. Хямяляйнен В. А., Иванов В. В., Мурко В. И. Разрушение и тампонаж пород в сейсмически активных условиях метаноугольных месторождений. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2014. — 256 с. 

REFERENCES

1. 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.

2. 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 mechanis. *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 330, article 129881.

3. 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.

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

5. Murko V. I., Fedyaev V. I., Aynetdinov H. L., Yakovenko A. V., Voskoboynikov P. S. Improvement of a technological complex on preparation and burning of suspension coal fuel on the basis of coal preparation waste. *Ugol'*. 2013, no. 4, pp. 50–52. [In Russ].

6. 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.

7. 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.

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

9. Pestryak 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.

10. 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, no. 2, article 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/20198201004.

11. Alaa M. Musalam, Abdel Fattah A. Qaraman The thermal behavior of the coal-water fuel (CWF). *International Journal of Energy and Environmental Research*. 2016, vol. 4, no. 3, pp. 27–36.

12. Murko V., Khyamyalyainen V., Baranova M. Use of ash-and-slag wastes after burning of fine-dispersed coal-washing wastes. *E3S Web of Conferences*. 2018, vol. 41, no. 3, article 01042. DOI:10.1051/e3sconf/20184101042.

13. Khyamyalyaynen V. A., Ivanov V. V., Murko V. I. *Razrushenie i tamponazh porod v seismicheski aktivnykh usloviyakh metanougol'nykh mestorozhdeniy* [Destruction and strengthening breeds in seismically active conditions the metanougolnykh of fields], Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2014, 256 p.

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, e-mail: marina60@mail.ru,
Красноярский государственный аграрный университет,
ORCID ID: 0000-0002-2700-9721.

Для контактов: Мурко В.И., e-mail: sib_eco@kuz.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Murko, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: sib_eco@kuz.ru,
Siberian Industrial University,
654007, Novokuznetsk, Russia,
ORCID ID: 0000-0002-6932-1019,

M.P. Baranova, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Head of Chair, e-mail: marina60@mail.ru,
Krasnoyarsk State Agrarian University,
660049, Krasnoyarsk, Russia,
ORCID ID: 0000-0002-2700-9721.

Corresponding author: V.I. Murko, e-mail: sib_eco@kuz.ru.

Получена редакцией 24.01.2022; получена после рецензии 08.02.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 24.01.2022; received after the review 08.02.2022; accepted for printing 10.05.2022.