ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(10-1):45–55
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.88 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ

А. А. Харионовский[1], В. Ю. Гришин[2], К. С. Коликов[3], Н. П. Удалова[3]

[1] ООО «Межотраслевой научно-исследовательский и проектно-технологический институт экологии топливно-энергетического комплекса»;
[2] ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, Москва, Россия;
[3] Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Одним из основных аспектов негативного воздействия угледобычи являются значительные объемы образования отходов. В последние годы отмечена тенденция увеличения количества отходов, так за 2017 год их количество составило почти 3,6 млрд тонн, превысив показатели предыдущего года более чем на 10%. Более 99% отходов относятся к 5 классу опасности. Уровень использования отходов угольной промышленности составляет примерно 50% от образующихся. Это означает постоянное увеличение общего количества отходов угольной промышленности, что приводит к развитию комплекса экологических проблем. Основным способом решения данной проблемы является включение отходов в производственный оборот, т.е. перевод отходов в категорию сырья. В статье рассмотрены основные проблемы использования минеральных отходов добывающей и перерабатывающей угольной промышленности. Проанализирован мировой и отечественный опыт использования отходов угледобывающей промышленности. Рассмотрены недостатки действующего законодательства, тормозящие применение ресурсосберегающих и природоохранных технологий. Предложены возможные, по мнению авторов, пути утилизации минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики, а именно: разработка и утверждение методик комплексной оценки возможности использования отходов, разработка рекомендаций по использованию минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики в закладке выработанных пространств и внесение корректив в действующее законодательство.

Ключевые слова: минеральные отходы добывающей и перерабатывающей промышленности, золошлаковые отходы, твердотопливная энергетика, ресурсосберегающие технологии, наилучшие доступные технологии, законодательство.

Для цитирования: *Харионовский А. А., Гришин В. Ю., Коликов К. С., Удалова Н. П.* Проблемы использования отходов угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 45–55. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45.

Problems of using coal mining waste

Harionovskij A. A.[1], Grishin V. Yu.[2], Kolikov K. S.[3], Udalova N. P.[3]

[1] LLC "Interbranch Scientific-Research and Design Institute of Ecology of the Fuel and Energy Complex";
[2] Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of the Russian Federation;
[3] NUST «MISIS», Moscow, Russia

© А. А. Харионовский, В. Ю. Гришин, К. С. Коликов, Н. П. Удалова. 2021

Abstract: The coal industry is one of the leaders in terms of waste generation in industrial production. In 2017, 3.6 billion tons of wastes were generated in the coal industry, more than 99% of which belong to the 5th class of hazard. The level of coal industry waste utilization is about 50% of the generated waste. At the same time, the amount of generated waste increases annually, with a constant increase in coal production volumes. This means a constant increase in the total amount of coal industry waste in external rock dumps, sludge collectors and tailing dumps. This leads to the development of a set of environmental problems. The use of production wastes is the main way to reduce their negative impact on the environment. In article the basic problems of use of a mineral waste of the mining and processing coal industry are considered. The world and domestic experience of use of a waste of coal mining industry is analyzed. Deficiencies of the current legislation, hampering application of resource-saving and nature protection technologies are considered. According to the authors of utilization of mineral wastes of extractive and processing industries and solid fuel energy are offered. Namely — development and approval of methods of complex estimation of possibility of use of a waste, development of recommendations on use of mineral wastes of extractive, processing industry and solid fuel power engineering in a bookmark of the exhausted spaces and modification of the current legislation.

Key words: mineral waste from the mining and processing industry, ash and slag waste, solid fuel energy, resource-saving technologies, best available technologies, legislation.

For citation: Harionovskij A. A., Grishin V. Yu., Kolikov K. S., Udalova N. P. Problems of using coal mining waste. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10-1):45—55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_45.

Актуальность

Низкий уровень использования отходов производства и потребления приводит к обострению экологических проблем нашей страны. В 2017 г. в угольной отрасли было образовано 3 598,0 (в 2016 г. — 3 236,9) млн т отходов всех классов, что на 361,4 млн т больше, чем в 2016 г., из них первого класса — 31,2 т (в 2016 г. — 51,9 т), второго класса — 210,0 т (178,0 т), третьего класса — 45,7 тыс. т (11,9 тыс. т), четвертого класса –85,5 тыс. т (79,5 тыс. т) и пятого класса — 3 597,9 млн т (3 236,5 млн т). Отходы 5 класса в общем объеме образованных за год составляют 99,99%. В течение 2017 г. использовано 1 963,2 млн т (в 2016 г. — 1 690,0 млн т) отходов или — 54,6% (52,2%) от образованных за год. На начало 2018 года объемы накопленных отходов в отвалах пород, шламонакопителях и хвостохранилищах составил 21,58 млрд т [1, 2]. К концу 2017 г. общая площадь нарушенных земель, накопленных за предыдущие годы, увеличилась по сравнению с 2016 г. на 3,8% и составила 115,4 тыс. га. В последние годы объём ежегодно образующихся отходов увеличивается, что определяется не только ростом объёмов добычи угля, но и увеличением коэффициента вскрыши на разрезах.

Основными направлениями снижения негативного воздействия на окружающую среду отходов открытой угледобычи являются:

– расширение применения технологий, обеспечивающих снижение объёмов образования отходов;

– увеличение доли использования отходов;

– разработка технологических решений по безопасному размещению отходов.

Первое направление развивается за счёт:

– оптимизации планирования и последовательности отработки карьерных полей;

– оптимизации технологических решений по формированию породных

отвалов при максимальном размещении пород вскрыши в выработанном пространстве разрезов;

– использования породы, образовавшейся от проходки горных выработок в шахтах в качестве закладочного материала.

Обобщенная характеристика отходов

Вскрышные и вмещающие породы преимущественно состоят из осадочных пород, одним из препятствий на пути их эффективного использования является неоднородный химический и минералогический состав. Основным компонентом являются аргиллиты (до 60%). Поскольку есть угольные пласты не рабочей мощности, достаточно велико (до 21%) содержание угля, важное экологическое значение имеют соединения серы (до 4—5%), кроме этого, в небольших количествах содержатся цветные и редкие металлы, а также радионуклиды (уран и торий) в следовых количествах [3—5]. Наличие горючих компонент обычно обеспечивает теплотворную способность более 800 ккал/кг, что соответствует низкосортному топливу. Глинистые вещества в основном представлены каолинитом и гидрослюдами.

Отходы углеобогащения более стабильны по составу, характеризуются более высоким содержанием угля, аргиллитов, глинозёма, серы.

Отходы добычи и обогащения угля содержат до 70 микроэлементов, в число которых входят как ценные, так и токсичные элементы [3—5]. Характерный состав отходов представлен в табл. 1.

Многочисленными исследованиями установлено, что по литолого-минеральному составу и основным свойствам вскрышные и вмещающие породы и отходы обогащения близки к общераспространённым полезным ископаемым. В связи с этим такие породы и отходы чаще всего используют в производстве строительных материалов и применяют в строительстве [1]. Однако разнообразие возможных технологий использования приводит к возникновению специфических требований к составу и свойствам углеотходов, что может как осложнять реализацию способов использования, так и повышать её эффективность. Так, наличие в отходах угля в ряде случаев позволяет экономить топливо.

Направления использования

В настоящее время основными направлениями использования отходов угледобычи являются:

– сжигание и газификация;

– производственные нужды предприятия;

– строительство;

– строительные и другие материалы;

– сельское хозяйство;

– очистка сточных вод;

– извлечение ценных элементов.

Первые четыре уже достаточно отработаны и используются в промышленности. Следующие два направления проходят опытно-промышленные испытания, а извлечение ценных компонент еще находится на стадии научных исследований.

Следует отметить, что данная составляющая имеет значительные перспективы еще и потому, что обеспечивает решение вопроса накопленного ущерба и комплексного освоения ресурсов.

При значительном содержании горючих компонент использование отходов как низкосортного топлива возможно по нескольким схемам:

– добавление к качественному твердому топливу;

Таблица 1
Характеристика отходов добычи и обогащения угля
Characteristics of coal production and dressing waste

Вещественный состав вскрышных и вмещающих пород	Химический состав вскрышных и вмещающих пород, %	Химический состав отходов обогащения, %	Ценные элементы, г/т	Токсичные элементы, г/т
Глины, суглинки Супеси Аргиллиты Песчаники Глинистые сланцы Углистые сланцы Известняки	П. П.П. — 3—21 SiO_2 — 34—70 Al_2O_3 — 15—23 Fe_2O — 1—14 CaO — 1—7 MgO — 1—3	П. П.П. — 3—47 SiO_2 — 50—79 Al_2O_3 — 14—31 Fe_2O -1—16 CaO — 1—7 MgO — 0,3—3,6	Бор — 60 Ванадий — н.д. Вольфрам ≤1 Галлий — 10—15 Германий — 1 Золото — н.д. Иттрий — 10 Иттербий — 10 Лантан — н.д. Молибден — 2 Олово — н.д. Рений — 0,1 Свинец — 30 Серебро — 0,1 Селен — н.д. Церий — н.д. Цинк — 70	Бериллий ≤2 Ванадий — н.д. Кобальт — н.д. Марганец — 300 Мышьяк — 30 Никель — 15 Ртуть — 0,1 Свинец — 30 Селен — н.д. Сурьма — н.д. Галлий — 10—15 Фтор — 200 Хром — 30 Цинк — 70

– добавление к газообразному или жидкому топливу при сжигании в пылеугольных топках;

– повышение качества топлива за счет обогащения;

– сжигание в топках кипящего слоя.

Углеотходы смешиваются с твёрдым топливом с целью получения смеси, сжигание которой обеспечивает приемлемые технико-экономические показатели. Этот приём применяют во многих странах (Япония, Польша и др.).

Сжигание углеотходов с добавлением газа или мазута связано с относительно большим расходом газа или мазута для обеспечения стабильного режима работы топки, что не всегда экономически оправдано.

Сжигание углеотходов в топках кипящего слоя оценивается как наиболее целесообразный, перспективный и экономичный метод, позволяющий снизить выбросы в атмосферу оксидов азота и серы за счёт более низких температур в топке по сравнению с пылеугольным сжиганием. Процесс горения отличается достаточно высокой стабильностью при изменении расхода и теплоты сгорания топлива. В настоящее время разработано несколько конструкций топок кипящего слоя, которые используются в нашей стране и ряде других стран (Германия, Бельгия) [6, 7]. Широкое применение данный способ получил в Китае.

Альтернативой прямому сжиганию отходов добычи и обогащения угля является их предварительная переработка с использованием отсадочных машин, сепараторов и других аппаратов, применяемых при обогащении угля. Венгерско-польской фирмой «Халдекс» разработана специальная установка для извлечения энергетического

топлива из углесодержащих отвальных пород, которая успешно используется во многих странах.

На предприятиях России, Украины, Казахстана для повышения концентрации горючей части используются противоточные гравитационные сепараторы КНС [8], которые позволяют получать энергетический уголь зольностью до 25% и отходы с содержанием золы 70 — 80%.

Для извлечения угля из отвальной массы сухим способом разработан и применяется вибропневматический сепаратор СПВ-5,5х1 [9]. Зольность получаемого продукта составляет 21 — 34%.

В Печорском бассейне освоено производство брикетов из угольного шлама, извлекаемого из шламохранилищ [10]. Проведённые промышленные испытания показали, что коэффициент полезного действия печи, работающей на брикетах, достигает 76%. Остаток после сгорания имеет зольность 95 — 98%.

В качестве перспективного направления утилизации горной массы рассматривается её газификация. При этом необходимо отметить, что в таких странах, как Германия, Австралия, Китай, США и ряде других, успешно применяются технологии по газификации угля, производству химической продукции и жидких топлив в промышленных масштабах. Для газификации используют свежеизвлечённую горную массу с содержанием угля 20% и более. В качестве отхода этого процесса получают зольный остаток, который может быть использован для производства строительных материалов.

Основная часть отходов используется для закладки выработанного пространства [11] разрезов, при рекультивации нарушенных земель, для горизонтальной планировки поверхности при строительстве различных производственных зданий и сооружений, для сооружения дамб и плотин [1, 3]. Основным достоинством этого направления является отсутствие жестких требований к качеству используемого отхода и, как следствие, минимальные затраты на их подготовку. Следует отметить, что в последние 35 — 40 лет практически отсутствует закладка выработанного пространства угольных шахт, которая в 70 — 80-е годы прошлого века проходила широкие промышленные испытания и при определенных горно-геологических условиях давала интересные результаты.

Как уже отмечалось, достаточно широко и успешно отходы добычи и обогащения угля применяются в дорожном строительстве, наиболее качественные материалы получают при использовании горелых пород.

При помощи вскрышных, горелых и скальных пород достаточно успешно формируются искусственные фильтрующие массивы для очистки сточных вод.

Практически во всех угольных бассейнах страны имеются объекты, построенные с использованием отходов добычи и обогащения угля, такие как автодороги, гидротехнические сооружения и другие. Однако доля использования отходов для этих целей невелика и не превышает 10%.

В лаборатории горного института выполнена экспертная оценка объёмов песка и гравия в четвертичных вскрышных породах девяти действующих угольных разрезов [7]. Оценка показала, что на трех из них возможные объёмы добычи песка и гравия составляют от 50% до 100% четвертичных пород, на остальных разрезах — только небольшую часть их объёма. Для увеличения объёмов добычи песка и гравия на разрезах необходимо применение технологий селективной выемки и специальных технических средств, что усложняет технологию вскрышных работ и требует дополнительных затрат.

Многочисленные исследования, зарубежный и отечественный опыт показывают, что углесодержащие отходы добычи и обогащения угля могут применяться при производстве кирпича и других аналогичных изделий [12—14]. Главное преимущество использования углеотходов при производстве кирпича заключается в снижении расхода технологического топлива. Технология производства кирпича разработана и проверена ВНИИСТРОМ. Плотность получаемого в промышленных условиях кирпича из флотационных отходов соответствует маркам 150—200 [8, 11]. Предприятие по производству кирпича из текущих отходов углеобогащения действовало на шахте «Абашевская» в Кузбассе.

Состав отходов добычи и особенно обогащения угля близок к составу золошлаковых отходов ТЭС, которые достаточно широко применяются в качестве компонента сырья для производства цемента. Углеотходы с высоким содержанием оксидов железа и алюминия также могут применяться как компонент сырья для производства портландцемента на цементных заводах, использующих глину с низким содержанием оксида алюминия. Применение углеотходов позволяет заменить глинистый компонент сырья и снизить расход топлива на 10—12%. Значительные объёмы углеотходов для этой цели ежегодно используются в Польше, Германии.

Из существующих видов пористых заполнителей бетонов отходы добычи и обогащения угля могут служить сырьем для производства двух основных видов пористых заполнителей: аглопорита и керамзита. Для производства аглопорита используются отходы добычи и обогащения угля, представляющие собой достаточно плотную и прочную породу, которая содержит органическое вещество, относительно равномерно распределённое в её массе. Бетон, изготовленный на аглопоритовом щебне и песке из углеотходов, имеет плотность не более 1400—1500 кг/м^3, прочность 10—20 МПа при расходе цемента около 300 кг/м^3. Опыт эксплуатации промышленных установок получения аглопорита из углеотходов имеется в России, Украине, США, Польше и других странах.

Керамзит получают методом обжига во вращающихся печах исходного сырья, обладающего свойством вспучивания при нагревании. Для производства керамзита могут быть использованы высокозольные (более 80—90%) отходы угледобычи, состоящие из глин, суглинков, аргиллитов, а также высокозольные отходы ряда углеобогатительных фабрик с низким содержанием углерода, обладающих высокой вспучиваемостью. В промышленных масштабах производство керамзита осуществляется во многих странах (Россия, Украина, Франция, Чехия, Япония и др.).

Наличие углеотходов с высоким содержанием Al_2O_3 даёт основание рассматривать их как сырьё для получения алюминийсодержащих продуктов. На базе глинистых углеотходов Подмосковного бассейна ИГИ была разработана технология получения сульфата алюминия, предназначенного для использования в качестве коагулянта при очистке природных и сточных вод [8, 9, 13].

Положительные результаты дали исследования ИГИ по получению глинозёма из отходов добычи и обогащения углей Экибастузского бассейна и их смеси с бокситами, а также аналогичные исследования Донецкого национального технического университета по получению глинозёма из отходов добычи и обогащения угля с содержанием оксида алюминия 20—30% [15]. Предложена технологическая схема получения глинозёма.

Технологии производства различных строительных материалов разработаны, проверены в лабораторных и производственных условиях и могут успешно применяться в промышленных масштабах во всех угольных регионах. Дополнительными преимуществами данного направления является снижение экологической нагрузки на окружающую среду за счет уменьшения добычи общераспространенных полезных ископаемых при их замене отходами добычи и переработки угля, а также сокращение транспортных расходов и более полное освоение ресурсов.

К другим, менее изученным направлениям использования отходов добычи и обогащения угля относится извлечение редких и рассеянных элементов [1], а также других ценных компонентов.

За рубежом использованию отходов угледобычи и углеобогащения придаётся важное значение, направления практически одинаковые. Однако в странах Европейского Союза (Германия, Франция, Бельгия, Польша) в целях сохранения поверхности земли значительные объёмы шахтных пород используются для закладки выработанного пространства шахт как с приготовлением закладочного материала на поверхностном комплексе, так и без выдачи породы на поверхность [16]. Уровень использования отходов в этих странах выше, чем в России, и достигает 80—90%.

Выполненный анализ состояния использования отходов добычи и обогащения угля показывает, что широкий диапазон изменения физико-механических и других характеристик вскрышных пород и отходов обогащения угля (в меньшей степени) является препятствием к эффективному использованию для производства строительных материалов, зачастую обуславливая экономическую неэффективность (убыточность) их использования, что негативно отражается на объёмах промышленного применения.

Научно-технический уровень разработок в данной сфере и степень их апробации являются достаточно высокими. Однако масштабы промышленной реализации имеющихся разработок ограничены и растут очень медленно в силу ряда объективных причин преимущественно экономического характера. Предприятия по переработке отходов и получению из них товарных продуктов не получили массового развития.

Необходимо отметить, что в последние годы все большее внимание уделяется качеству и составу горно-геологической информации для принятия решений, обеспечивающих безопасную, эффективную и комплексную разработку месторождений полезных ископаемых. Развитие технологий комплексного освоения месторождений, снижающих объемы образования отходов, требует кардинально нового уровня получения горно-геологической информации, которая охватывает не только целевое полезное ископаемое, но и попутные полезные компоненты, а также характеристики вмещающих пород. На стадии разведки угольных месторождений целесообразно оценивать запасы попутных полезных ископаемых, а в проектах разработки месторождений предусматривать их добычу, переработку некондиционных полезных ископаемых и отходов производства в товарные продукты. Внедрение данного подхода невозможно без совершенствования нормативной правовой базы в направлении ужесточения требований по снижению объёмов их образования и экономическому стимулированию комплексного освоения ресурсов.

Проблемы нормирования

Закон РФ № 2395—1 «О недрах» регламентирует общие требования к об-

ращению с отходами добычи и обогащения полезных ископаемых. Однако отсутствие подзаконных актов в данной сфере деятельности, методических указаний (как отраслевых, так и межотраслевых) по использованию отходов добычи и обогащения полезных ископаемых и вторичных ресурсов, отходов смежных отраслей промышленности, а также соответствующих ГОСТов, существенно тормозит применение ресурсосберегающих и природоохранных технологий.

Основные причины низкого уровня использования отходов в России таковы:

- отсутствие целенаправленной государственной политики в области использования природных инертных и техногенных материалов с целью сохранения экологического равновесия;
- недостаточное экономическое стимулирование работ по созданию производств по утилизации (переработке) таких отходов;
- недостаточное применение результатов научно-исследовательских работ;
- отсутствие нормативно-методической документации и государственных стандартов в области использования минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики.

В соответствии со статьей 3 ФЗ «Об отходах производства и потребления», основными принципами государственной политики в области обращения с отходами являются: «... использование наилучших доступных технологий (НДТ) при обращении с отходами... комплексная переработка материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов... ». Законодательство обязывает предприятия 1-й категории использовать НДТ, однако в справочниках НДТ в части обращения с отходами для горных предприятий и предприятий твердотопливной энергетики нет наилучших и доступных технологий по использованию отходов (кроме рекультивации земель, нарушенных горными работами). Статья 12 п. 11 ФЗ «Об отходах производства и потребления» также не улучшает положения: «... При ликвидации горных выработок могут использоваться вскрышные и вмещающие горные породы, отходы производства черных металлов IV и V классов опасности в соответствии с проектом ликвидации горных выработок.». Таким образом, создается существенное препятствие для выполнения статьи 4.2 ФЗ Об охране окружающей среды (с изменениями на 31 декабря 2017 года; редакция, действующая с 1 января 2018 года): «... использование методов экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот... ».

В настоящее время в России в рамках «регуляторной гильотины» осуществляется масштабное обновление нормативно-правовой базы. Одним из основных направлений совершенствования является широкое применение НДТ и регламентация порядка получения комплексных экологических разрешений. В то же время идет процесс гармонизации российского законодательства с нормами международного права. Участниками «круглого стола» Комитета Государственной Думы по энергетике была отмечена необходимость преобразования «угольной отрасли из сырьевой в отрасль по добыче и глубокой переработке угля как важнейшего направления реализации новой угольной политики в России» [2].

Выводы

Таким образом, для решения проблемы утилизации минеральных отхо-

дов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики необходимы:

– разработка и утверждение методик комплексной оценки возможности использования отходов с определением этапов использования на основании физических, химических, агрохимических и других показателей, которая позволит разработать недостающие нормативные документы для применения по всем направлениям возможного применения;

– разработка рекомендаций по использованию минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики в закладке выработанных пространств с учетом технологической и экологической безопасности;

– совершенствование действующего законодательства (ФЗ «Об отходах производства и потребления, ФЗ «Об охране окружающей среды», Закон «О недрах»), в направлении снятия препятствий для применения ресурсосберегающих и малоотходных технологий в части использования минеральных отходов добывающей, перерабатывающей промышленности и твердотопливной энергетики.

– стимуляция производителей и потребителей таких отходов не только штрафными санкциями и повышением категории риска, но и предоставлением различных льгот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Харионовский А. А.*, *Данилова М. Ю.* Проблемы обращения с отходами производства в угольной промышленности и пути их решения// Экология промышленного производства — 2017. №3 (99). — С. 2—7
2. Рекомендации «круглого стола» Комитета Государственной Думы по энергетике на тему «Законодательное обеспечение развития глубокой переработки угля и углехимии» 26.10.2020 утверждены Решением Комитета Государственной Думы по энергетике №3.25—5/165 от 9 декабря 2020 года.
3. *Починков И. В.*, *Мясков А. В.* Анализ существующих методов использования и переработки отходов угледобычи // Научный вестник московского государственного горного университета. — 2013. — №5 — С. 76—82
4. *Шпирт М. Я.* Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых/ Под редакцией Б. Н. Ласкорина. — М.: Недра, 1986. — 255 с.
5. *Шпирт М. Я.*, *Рубан В. А.*, *Иткин Ю. В.* Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. — М.: Недра, 1990. — 224 с.
6. *Tokmurzin D.*, *Adair D.*, *Golman B.*, *Dyussekhanov T.*, *Suleymenov K.*, *Aiymbetov B.* Development of a circulating fluidized bed partial gasification process for co-production of metallurgical semi-coke and syngas and its integration with power plant for electricity production // International journal of coal preparation and utilization. — 2019. — (б/н).
7. *Кононенко Е. А.*, *Мишин Ю. М.* Перспективы и технология выделения строительных материалов из гидросмеси вскрышных пород угольных разрезов// Маркшейдерия и недропользование. — 2009. — 31 (39). — С. 44—47.
8. *Тюря Ю. И.*, *Машкова Т. Ю.*, *Толкун А. Д.* Обзор современного состояния технологий обогащения отходов углеобогащения. // Сборник научных трудов SWorld. — 2012. — №1. — Т. 4. — С. 23—27.
9. Современная техника и технология обогащения российских углей. Каталог-справочник. Антипенко Л. А., Кирюхин Ю. Е., Гущин А. А., Толчёнкин Ю. А., Щадов В. М. — Кемерово, Кузбассполиграфиздат, 2008. — 310 с.
10. *Журавлев С. В.*, *Беломеря Н. И.* О возможном использовании техногенных продуктов при производстве строительных материалов. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов / Сборник материалов XIII меж-

дународной научной конференции аспирантов и студентов. Донецкий национальный технический университет (Донецк). — 2019. — С. 32—34

11. *Удалова Н. П.*, *Ганган П. П.*, Современные области применения породных отвалов горнодобывающем предприятии // Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН. — 2017. — Т. 5. — №2. — С. 79 — 85, DOI:10.2205/2017BS045.

12. A.Yu. Stolboushkina, A. I. Ivanova, O. A. Fominab Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning// International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016 / Procedia Engineering 150 — 2016. — p.p. 1496 — 1502 DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.089

13. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник. Головин Г. С., Малолетнев А. С. — М.: НТК «Трек», 2007. — 292 с.

14. Encyclopedia Britannica, Coal // "Britannica" — 2021. [Электронный ресурс] URL: https://www.britannica.com/science/coal-fossil-fuel/Problems-associated-with-the-use-of-coal (дата обращения 07.06.2021).

15. *Свечникова Н. Ю.*, *Юдина С. В.*, *Мамедалина Н. И.* Анализ отходов флотационного обогащения угля// Теория и технология металлургического производства. 2015. №1(16). С. 19—22.

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 — №2. — pp. 279—289 ГИАБ

REFERENCES

1. Harionovskij A. A., Danilova M. Ju. Problems of waste management in the coal industry and ways to solve them. *Ekologyja promyyshlennogo proyzvodstva.* 2017. no.3 (99). pp. 2—7 [In Russ]

2. *Rekomendacii «kruglogo stola» Komiteta Gosudarstvennoj Dumy po jenergetike na temu «Zakonodatel'noe obespechenie razvitija glubokoj pererabotki uglja i uglehimii» 26.10.2020 utverzhdeny Resheniem Komiteta Gosudarstvennoj Dumy po jenergetike no.3.25—5/165 ot 9 dekabrja 2020 goda* [The recommendations of the "round table" of the State Duma Committee on Energy on the topic "Legislative support for the development of deep processing of coal and coal chemistry" on 26.10.2020 were approved by the Decision of the State Duma Committee on Energy no. 3.25-5/165 of December 9, 2020] [In Russ]

3. Pochinkov I. V., Mjaskov A. V. Analysis of existing methods of use and processing of coal mining waste. *Nauchnyj vestnik moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta.* 2013. no.5. pp. 76—82 [In Russ]

4. Shpirt M. Ja. *Bezothodnaja tehnologija. Utilizacija othodov dobychi i pererabotki tverdyh gorjuchih iskopaemyh* [Waste-free technology. Disposal of waste from the extraction and processing of solid combustible minerals]. Pod redakciej B. N. Laskorina. Moscow, Nedra, 1986. 255 p. [In Russ]

5. Shpirt M. Ja., Ruban V. A., Itkin Ju. V. *Racional'noe ispol'zovanie othodov dobychi i obogashhenija uglej* [Rational use of coal mining and enrichment waste]. Moscow, Nedra, 1990. 224 p. [In Russ]

6. Tokmurzin D., Adair D., Golman B., Dyussekhanov T., Suleymenov K., Aiymbetov B. Development of a circulating fluidized bed partial gasification process for co-production of metallurgical semi-coke and syngas and its integration with power plant for electricity production. *International journal of coal preparation and utilization.* 2019 (b/n).

7. Kononenko E. A., Mishin Ju. M. Prospects and technology of isolation of building materials from the hydraulic mixture of overburden rocks of coal mines. *Markshejderija i nedropol'zovanie.* 2009. 31 (39), pp. 44—47. [In Russ]

8. Tjurja Ju. I., Mashkova T. Ju., Tolkun A. D. *Obzor sovremennogo sostojanija tehnologij obogashhenija othodov ugleobogashhenija* [Review of the current state of coal enrichment waste enrichment technologies]. Sbornik nauchnyh trudov SWorld. 2012. no.1 t.4. pp. 23—27 [In Russ]

9. Antipenko L. A., Kirjuhin Ju. E., Gushhin A. A., Tolchjonkin Ju. A., Shhadov V. M. *Sovremennaja tehnika i tehnologija obogashhenija rossijskih uglej* [Modern equipment and technology of enrichment of Russian coals]. Katalog-spravochnik. Kemerovo, Kuzbasspoligrafizdat, 2008. 310 p. [In Russ]

10. Zhuravlev S. V., Belomerja N. I. *O vozmozhnom ispol'zovanii tehnogennyh produktov pri proizvodstve stroitel'nyh materialov. Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'noe ispol'zovanie prirodnyh resursov* [On the possible use of technogenic products in the production of building materials. Environmental protection and rational use of natural resources]. Sbornik materialov XIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii aspirantov i studentov. Doneckij nacional'nyj tehnicheskij universitet (Doneck). 2019. pp. 32 – 34 [In Russ]

11. Udalova N. P., Gangan P. P. *Sovremennye oblasti primenenija porodnyh otvalov gornodobyvajushhem predprijatii* [Modern applications of rock dumps in a mining enterprise. Geoinformatics Research]. Issledovanija po geoinformatike: trudy Geofizicheskogo centra RAN. 2017. Vol.5. no.2. pp. 79 85, DOI:10.2205/2017BS045. [In Russ]

12. A.Yu. Stolboushkina, A. I. Ivanova, O. A. Fominab Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning. *International Conference on Industrial Engineering*, ICIE 2016 / Procedia Engineering 150 2016. pp. 1496 1502 DOI:10.1016/j.proeng.2016.07.089.

13. Golovin G. S., Maloletnev A. S. *Kompleksnaja pererabotka uglej i povyshenie jeffektivnosti ih ispol'zovanija* [Complex processing of coal and efficiency of their use]. Katalog-spravochnik. Moscow: NTK "Trek", 2007. 292 p. [In Russ]

14. Encyclopedia Britannica, Coal. "Britannica" 2021. [Jelektronnyj resurs] URL: https://www.britannica.com/science/coal-fossil-fuel/Problems-associated-with-the-use-of-coal (data obrashhenija 07.06.2021).

15. Svechnikova N. Ju., Judina S. V., Mamedalina N. I. Analysis of coal flotation enrichment waste. *Teorija i tehnologija metallurgicheskogo proizvodstva*. 2015. no.1(16). pp. 19 – 22. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харионовский Анатолий Алексеевич[1] — докт. техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе;
Гришин Валерий Юрьевич[2] — канд. техн. наук, директор проекта, e-mail:grishinvy@minenergo.gov.ru;
Коликов Константин Сергеевич[3] — докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Безопасность и экология горного производства», e-mail: kolikovks@mail.ru;
Удалова Наталия Петровна[3] — ст. преподаватель кафедры «Безопасность и экология горного производства», e-mail: udal71@mail.ru;
[1] ООО «Межотраслевой научно-исследовательский и проектно-технологический институт экологии топливно-энергетического комплекса»;
[2] ФГБУ «РЭА» Минэнерго России;
[3] Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Harionovskij A. A.[1], Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director for Scientific Work;
Grishin V. Yu.[2], Cand. Sci. (Eng.), Project Director;
Kolikov K. S.[3], Dr. Sci. (Eng.), Department of «Mining safety and ecology», kolikovks@mail.ru;
Udalova N. P.[3], head lecturer, udal71@mail.ru, Department of «Mining safety and ecology»;
[1] LLC "Interbranch Scientific-Research and Design Institute of Ecology of the Fuel and Energy Complex";
[2] Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of the Russian Federation;
[3] NUST «MISIS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 30.06.2021; получена после рецензии 22.07.2021; принята к печати 10.09.2021.
Received by the editors 30.06.2021; received after the review 22.07.2021; accepted for printing 10.09.2021.