

УДК 662.749.319:539.215.4:620.193.94

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2017

ДИСПЕРСНОСТЬ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ПЫЛИ МАРКИ Ж ВОРГАШОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

В.А. Родионов, Л.В. Пихконен, С.Я. Жихарев¹

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС РФ (196105, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 149)

¹Горный институт Уральского отделения Российской академии наук (614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а)

DISPERSION OF THE G-TYPE COAL DUST OF THE VORGASHORSKOE FIELD AND ITS INFLUENCE ON THE THERMAL DESTRUCTION PROCESS

Vladimir A. Rodionov, Leonid V. Pikhkonen, Sergey Ya. Zhikharev¹

Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia (149 Moskovskiy av., Saint Petersburg, 199105, Russian Federation)

¹Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78 Sibirskaya st., Building A, Perm, 614007, Russian Federation)

Получена / Received: 31.08.2017. Принята / Accepted: 12.10.2017. Опубликовано / Published: 01.12.2017

Ключевые слова:

гранулометрический анализ, технический анализ, дисперсионный состав, пиролиз каменного угля, взрывоопасная пыль, угольная пыль, дифференциально-термический анализ, термогравиметрия.

Изложены результаты комплексного исследования каменноугольной пыли, полученной из каменного угля марки Ж Воргашорского месторождения. Основными методами исследования, примененными в работе, были методы гранулометрического, термогравиметрического и дифференциально-термического анализа.

Проведенный гранулометрический анализ подтвердил неоднородность пробы размером фракции 0–200 мкм для технического анализа. Установлено, что на долю фракций размером менее 100 мкм приходится более 50 % от общей массы пробы. Полученные результаты позволили предположить, что в зависимости от содержания той или иной фракции в общей технической пробе, направленной на анализ, результат может быть различным. Однако при выполнении технического анализа пробы каменноугольной пыли, возможно, это и допустимо, а при определении взрывопожароопасных показателей нет. С целью изучения влияния дисперсионного состава пыли на процесс пиролиза в воздушной (окислительной) среде для каждой из фракций 0–200 мкм и дополнительно для более крупных фракций были выполнены исследования методами термогравиметрии и проведен дифференциально-термический анализ. Данные термогравиметрического анализа подтвердили предположение о неоднозначном поведении каменноугольной пыли при ее пиролизе в зависимости от дисперсионного состава. Две фракции показали одинаковое поведение при термическом разложении, фракция 63–94 мкм является пограничной фракцией между 0–45 и 45–63 мкм и остальными фракциями большего, чем 94 мкм, размера. Данный факт свидетельствует о том, что при определении взрывопожароопасных свойств необходимо исследовать пробы пыли дисперсионного состава от 0 до 100 мкм, т.е. более узкую фракцию, чем при проведении технического анализа проб от 0 до 200 мкм. Экспресс-анализ полученных данных дифференциально-термического анализа показал разницу при термической деструкции между рассматриваемыми фракциями на начальном этапе (250–330 °С). Полученные результаты позволили сделать вывод о целесообразности исследования каменноугольной пыли дисперсионного состава от 0–100 мкм, а также показали необходимость применения рассмотренных в статье методов для детального изучения физико-химических параметров угольной пыли и оценки ее взрывопожароопасных свойств.

Key words:

granulometric analysis, technical analysis, dispersion composition, pyrolysis of coal, explosive dust, coal dust, differential thermal analysis, thermogravimetry.

Results of a comprehensive study of coal dust obtained from the G-type coal of Vorgashorskoe field are presented. The main research methods used in the work are granulometric, thermogravimetric and differential thermal analysis.

The granulometric sieving carried out confirmed the heterogeneity of the sample with size of 0-200 µm fraction for a technical analysis. It is established that fractions of less than 100 µm size account for more than 50 % of the total sample mass. The results obtained suggested that result can be different depending on the content of a fraction in the overall technical sample sent for an analysis. However, this is probably acceptable in a technical analysis of coal dust samples but not for determination of explosive and fire hazard indicators. In order to study the effect of the dispersion composition of dust on a pyrolysis process in the air (oxidizing) medium for each of the fractions of 0-200 µm and additionally for larger fractions studies were carried out using thermogravimetry and a differential thermal analysis.

The thermogravimetric analysis confirmed the hypothesis about the ambiguous behavior of coal dust during its pyrolysis depending on the dispersion composition. Two fractions showed the same behavior during the thermal pyrolysis. The fraction of 63-94 µm is the boundary one between 0-45 and 45-63 µm and remaining fractions of larger than 94 µm in size. That fact indicates that during determination of the explosive fire hazard properties it is necessary to investigate dust samples of dispersive composition from 0 to 100 µm, i.e. a narrower fraction than in the technical analysis of samples from 0 to 200 µm. Express analysis of the obtained data of differential thermal analysis showed a difference in thermal degradation between the fractions of interest at the initial stage (250-330 °C). The results obtained allowed to draw a conclusion about the expediency of the study of coal dust of dispersive composition from 0-100 µm. It also showed the necessity of using methods considered in the paper for a detailed study of physical and chemical parameters of coal dust and an assessment of its explosive and fire hazard properties.

Родионов Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, докторант факультета подготовки кадров высшей квалификации (моб. тел.: +007 921 325 83 97, e-mail: 79213258397@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

Пихконен Леонид Валентинович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой горноспасательного дела и взрывобезопасности (моб. тел.: +007 921 325 83 97, e-mail: igpsmining@list.ru).

Жихарев Сергей Яковлевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник (моб. тел.: +007 919 451 09 51, e-mail: perevoloki55@mail.ru).

Vladimir A. Rodionov – PhD in Engineering, Associate Professor, Doctorate Student at the Faculty of Highly Qualified Personnel Training (mob. tel.: +007 921 325 83 97, e-mail: 79213258397@mail.ru). The contact person for correspondence.

Leonid V. Pikhkonen – PhD in Engineering, Head of the Department of Mine Rescue and Explosion Safety (mob. tel.: +007 921 325 83 97, e-mail: igpsmining@list.ru).

Sergey Ya. Zhikharev – Doctor of Engineering, Chief Research Fellow (mob. tel.: +007 919 451 09 51, e-mail: perevoloki55@mail.ru).

Введение

Для оценки качества каменного угля проводят технический анализ по известным стандартным методикам, но при этом исследуют не сам уголь, а его образцы, диспергированные до фракции 0–200 (212) мкм [1–7].

Именно в таком широком диапазоне в действующих нормативах рекомендуется определять технические показатели и взрывопожароопасные свойства каменного угля. Многие исследователи достаточно хорошо изучили влияние дисперсионного состава угля на его пожаротехнические свойства, и в большинстве работ подтверждается увеличение взрывопожароопасности с уменьшением фракций [8–10]. Однако только с применением современных приборов и аппаратуры, позволяющих использовать термогравиметрический (ТГ) и дифференциально-термический (ДТА) анализ, появилась возможность выявить новые количественные и качественные зависимости влияния дисперсионного состава угольной пыли на процесс пиролиза. Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о том, что локализация дисперсионного состава угольной пыли меняет ее взрывопожароопасные свойства [8–15].

За последние несколько лет выросла угледобыча, которая привела к росту чрезвычайных ситуаций, в том числе и со смертельным исходом (массовой гибелью шахтеров) [16–19]. Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости поиска новых подходов к решению вопросов промышленной и пожарной безопасности, связанных с обеспечением безопасности на объектах минерально-сырьевого комплекса [20–26].

Одно из решений, направленных на повышение пожарной и промышленной безопасности, – применение современных наукоемких методов по определению технических показателей каменного угля как сырья, а также его взрывопожароопасных свойств [27–31]. С учетом того, что исследований для определения взрывопожароопасных свойств, направленных на изучение поведения угольной пыли различных фракций (от 0 до 200 мкм), не проводилось, мы предприняли попытку исследовать процесс пиролиза отдельных фракций в окислительной среде.

Цель работы

Выполнить дисперсионный анализ стандартных образцов, подготовленных для

проведения технического анализа, и оценить влияние на процесс пиролиза в окислительной среде каждой фракции каменноугольной пыли каменного угля марки Ж.

Объект исследования

Объектом исследования служили образцы каменного угля марки Ж Воргашорского месторождения, диспергированные и рассеянные на фракции. Фракционный состав: 0–45; 45–63; 63–94; 94–125; 125–140; 140–200; 200–250 и 250–315 мкм.

Методы и методики исследования

Для достижения поставленных целей мы применяли методы дисперсионного анализа, сухой гранулометрический рассев и методы термогравиметрии и дифференциально-термического анализа.

В качестве образца для исследования была отобрана проба каменного угля марки Ж Воргашорского месторождения. Отобранный образец угля был подготовлен для размола на вибрационной конусной мельнице-дробилке ВКМД-10. После размола полученная диспергированная масса угля была направлена на сухой рассев.

На рис. 1 представлен внешний вид аналитической просеивающей машины серии AS 200 фирмы Retsch.

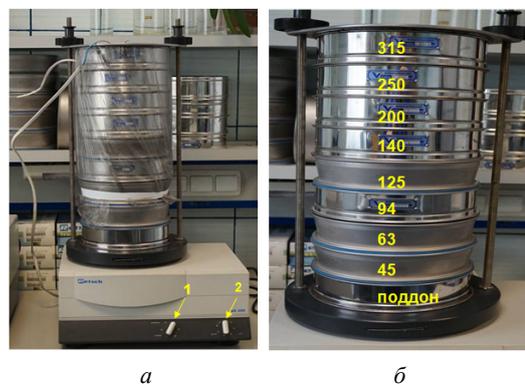


Рис. 1. Внешний вид просеивающей машины с подсоединенным для образующегося статического электричества заземлителем: 1 – рукоятка переключения вибрационного усилия; 2 – регулировка времени отсева (а); увеличенный набор сит с указанием ячейки сита (б)

Данный тип просеивающей машины обеспечивает плавный, неударный способ отсева. При безударном способе отсева ячейки практически не засоряются и легко очищаются от остатков. Поскольку отсутствует эффект «пробивки» частиц при ударном способе отсева, то фракции получаются более строгих форм по дисперсионным параметрам.

Результаты гранулометрического отсева отобранной пробы каменного угля марки Ж, измельченного с помощью ВКМД-10, приведены в таблице.

Результаты отсева образца каменного угля марки Ж Воргашорского месторождения

Дисперсность фракции, мкм	Выход фракции, %
0–45	3,78
45–63	18,56
63–94	32,77
94–125	14,58
125–140	9,74
140–200	20,55

Согласно данным таблицы видно, что фракционный состав неоднородный. Только на долю фракции 63–94 приходится 32,77 %, а в совокупности на фракции меньше 94 мкм – более 55 %. Полученные данные подтверждают необходимость исследования взрывопожароопасных свойств более узких фракций пыли, а не только прохода дисперсностью менее 212 мкм.

Дальнейшие исследования процесса пиролиза проводили на установке STA 449 F3 Jupiter. В качестве окислительной среды выбран воздух (окислитель – кислород воздуха). Условия проведения эксперимента выбраны с учетом результатов предыдущих исследователей и имеющихся методик по термогравиметрическому анализу. Данная установка представляет собой совмещенный ТГА/ДСК/СТА-анализатор, STA 449 F3 Jupiter, работающий под управлением программного пакета NETZSCH Proteus Thermal Analysis. При проведении экспериментов применяли термогравиметрический и дифференциально-термический анализ и программную экспресс-обработку полученных данных.

Выбор условий испытаний и примененных методов основан на анализе литературных и нормативно-правовых данных [32–41].

Условия проведения испытаний: термопара (модуль) – тип S; масса образца – 10 мг; скорость нагрева – 20 °С/мин; расход газа (воздух) – 40/60 мл/мин; конечная температура нагрева – 900 °С; термостатирование в течение 10 минут при 900 °С и охлаждение; окислительная среда – воздух.

На рис. 2 представлен результат термогравиметрического исследования процесса пиролиза фракций 0–45, 45–63, 63–94, 94–125, 125–140, 140–200. Дополнительно исследовали и более крупные фракции пыли, а именно 200–250 и 250–315 мкм, также представленные на рис. 2.

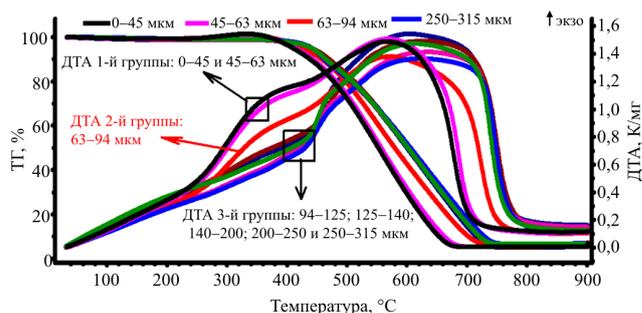


Рис. 2. Графики термогравиметрического и дифференциально-термического анализа образцов каменноугольной пыли различной дисперсности

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что кривые ТГ разделились на три группы и кривые ДТА также образовали три группы по фракционному составу, аналогичные группам ТГ.

В первую группу вошла фракции 0–45 мкм (черная кривая) и 45–63 мкм (сиреневая кривая). Вторая кривая, являющаяся «границей» между первой и третьей группами, представлена только фракцией 63–94 мкм (красная кривая). Третью большую группу совпадающих (накладывающихся друг на друга) кривых составляют остальные фракции: 94–125, 125–140, 140–200, 200–250 и 250–315 мкм (ниже на рис. 3 и 4 третья группа представлена фракцией 250–315 мкм синего цвета). Для наглядности и возможности сопоставления приведенных в статье результатов ТГ- и ДТА-анализов на рис. 3 и 4 кривые одной и той же фракции имеют один и тот же цвет, что и на рис. 1. Черный цвет соответствует фракции угольной пыли дисперсностью 0–45 мкм, красный цвет – 63–94 мкм и синий цвет – 250–315 мкм.

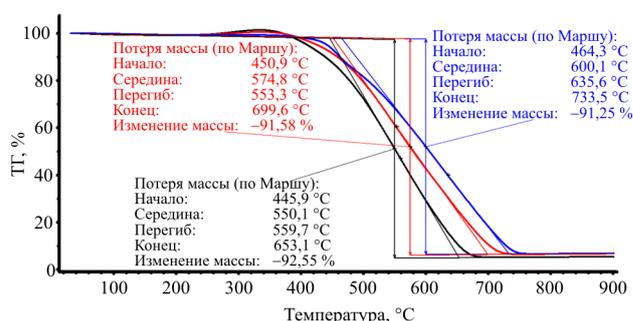


Рис. 3. Графическое отображение данных термогравиметрического анализа образцов каменноугольной пыли дисперсностью 0–45 (черная), 63–94 (красная) и 250–315 (синяя кривая) мкм

Полученные результаты подтвердили предположение о неоднозначности поведения угольной пыли в зависимости от ее

дисперсности в условиях нагрева в воздушной (окислительной) среде. Кроме того, результаты ТГ- и ДТА-анализа показали необходимость изучения именно узких фракций, а не фракции 0–212 мкм, как предписывается нормативными документами [3–7, 13].

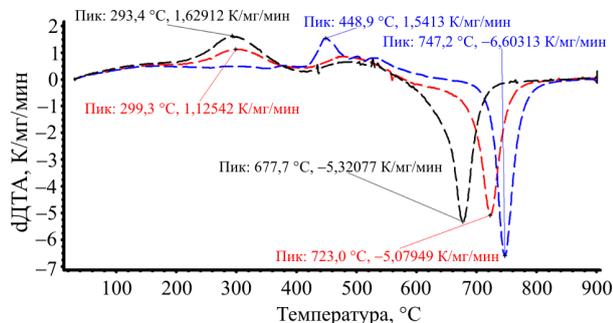


Рис. 4. Результаты программной экспресс-обработки кривых dDTA с помощью программного пакета NETZSCH Proteus Thermal Analysis: 0–45 мкм – черная, 63–94 мкм – красная и 250–315 мкм – синяя кривая

Результаты программной экспресс-обработки кривых ТГ с помощью программного пакета NETZSCH Proteus Thermal Analysis приведены на рис. 3.

Согласно экспресс-данным программного анализа, приведенным на рис. 3, видно, что начало термической деструкции образцов фракции 0–45 и 63–94 мкм полностью совпадает. Набор массы в интервале температур 250–350 °C свидетельствует о возможном появлении очага тления. Установить точную температуру тления можно при сопоставлении данных термогравиметрического (ТГ), дифференциально-термогравиметрического (ДТГ) и/или дифференциально-термического анализа по первой производной (dDTA) [34–36]. Для всех остальных фракций увеличение массы и разогрева образца не наблюдается, а вот снижение массы начинается с температуры 400 °C, т.е. как минимум на 50 °C позже. Кроме того, в литературных источниках выдвинуто предположение о том, что точке перегиба соответствует максимум выхода летучих и температура самовоспламенения вещества [32, 34–36]. Следовательно если опираться на данные фракционного состава без знания пропорционального соотношения между фракциями и термических характеристик каждой фракции, достоверность оценки взрывопожаротехнических свойств угольной пыли сильно занижается.

На рис. 4 представлены результаты дифференциально-термического анализа по первой производной. Они также подтверждают

наши предположения о главенствующей роли мелкодисперсных фракций в инициации окислительно-восстановительных процессов, приводящих к возникновению очагов тления при более низких температурах.

На рис. 4 приведены dDTA-кривые, по которым, в отличие от ДТА-кривых, представленных на рис. 1, можно лучше визуально оценить протекающие в исследуемом образце эндо- и экзотермические эффекты.

В образцах дисперсностью 0–45 и 63–94 мкм от 175 °C начинается выделение тепла, которое, по нашим предположениям, приводит при температуре, равной 293 °C (фракция 0–45 мкм) и 299 °C (фракция 63–94 мкм), к возникновению тления в данных образцах каменноугольной пыли. Данные результаты хорошо согласуются со справочными значениями температур тления, но достоверно это утверждать можно, только проведя дополнительный эксперимент по определению температуры тления по стандартной методике и сравнив полученные значения.

Для всех остальных образцов дисперсностью более 94 мкм разогрев образцов начинается с 420 °C и экзотермический пик определяется при температуре 448,9 °C. Разница между этими пиками в образцах 0–45, 63–94 и 94 мкм и выше составляет около 150 °C, а это уже существенно. Кроме того, максимальный экзотермический эффект образцов с меньшей дисперсностью также наблюдается при более низкой температуре, равной 677,7 °C, чем у всех остальных образцов дисперсностью выше 94 мкм (94–125; 125–140; 140–200; 200–250 и 250–315 мкм).

Выводы

1. Для увеличения достоверности данных технического анализа необходимо прикладывать к ним дисперсионный паспорт, т.е. в сопроводительной документации приводить данные гранулометрического анализа пробы, направляемой на технический анализ.

2. Предлагаем при определении взрывопожароопасных свойств каменноугольных пылей исследования проводить с образцами фракционного состава 0–100 мкм, а не 0–212 (200) мкм, как рекомендовано в [3–7, 13] и ряде других нормативно-правовых документов.

3. Методы термогравиметрического и дифференциально-термического анализа при их совместной интерпретации позволяют судить

о взрывопожароопасных свойствах каменноугольной пыли при ее пиролизе в воздушной среде. Для этого нужна разработка пакета нормативно-правовых документов, устанавли-

вающих требования к методикам определения взрывопожароопасных свойств каменноугольной пыли с помощью термогравиметрии и дифференциально-термического анализа.

Библиографический список

1. Чернышева Е.А. Влага в углях как параметр качества продукции // Уголь. – 2016. – № 8. – С. 125–128. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-8-125-128
2. Coal dust [Электронный ресурс]. – URL: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol68/mono68-12.pdf> (дата обращения: 20.06.2017).
3. ГОСТ 33654-2015. Угли бурые, каменные и антрацит. Общие требования к методам анализа [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61802/> (дата обращения: 20.06.2017).
4. ГОСТ Р 55661-2013. Топливо твердое минеральное. Определение зольности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/55374/> (дата обращения: 20.06.2017).
5. ГОСТ Р 55660-2013. Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/55585/> (дата обращения: 20.06.2017).
6. ГОСТ 33623-2015. Топливо твердое минеральное. Метод определения равновесной влажности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61798/> (дата обращения: 20.06.2017).
7. ГОСТ 33503-2015. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги в аналитической пробе [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61865/> (дата обращения: 20.06.2017).
8. Калякин С.А., Булгаков Ю.Ф. Пожаровзрывоопасность отложений угольной пыли // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2012. – № 1. – С. 14–27.
9. Калякин С.А. Анализ пожаровзрывоопасности угольной пыли // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2012. – № 1. – С. 27–35.
10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2 кн. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук [и др.]. – М.: Химия, 1990.
11. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
12. Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. – М.: Горное дело, Киммерийский центр, 2011. – 264 с.
13. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ (с изменениями на 29 июля 2017 года) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения 20.06.2017).
14. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с изменением № 1) [Электронный ресурс]. – URL: <http://npopris.ru/wp-content/uploads/2015/03/ГОСТ-12.1.044-89.pdf> (дата обращения: 20.06.2017).
15. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пожнаука, 2004.
16. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору / Управление по надзору в угольной промышленности // Угольная промышленность. – 2016. – № 4 (85). – С. 1–7.
17. Тарзанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь – декабрь 2015 года // Уголь. – 2015. – № 3. – С. 58–72. DOI: 10.18796/0041-5790-2015-12-58-72
18. Тарзанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности за январь – июнь России 2016 года // Уголь. – 2016. – № 9. – С. 46–62. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-9-46-62
19. Носенко В.Д. Как исключить взрывы метана в шахте // Уголь. – 2016. – № 6. – С. 37.
20. Бабкин В.А. Развитие угольной промышленности Российской Федерации на примере инновационного кластера Кемеровской области «Комплексная переработка угля и техногенных отходов» // Уголь. – 2016. – № 3. – С. 46–62. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-3-50-52
21. Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 1. – С. 82–87.
22. Забурдяев В.С. Технологические решения по предотвращению образования взрывоопасных смесей в шахтах // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 12. – С. 26–31.
23. Машинцов У.А., Котлеревская Л.В., Криничная Н.А. Технология повышения безопасности в угольной шахте // Известия Тульск. гос. ун-та. Технические науки. – 2014. – Вып. 9, ч. 2. – С. 168–172.
24. Ордин А.А. О необходимости изменения горного законодательства и нормативных актов для предотвращения взрывов метана на угольных шахтах России // Уголь. – 2016. – № 6. – С. 38–41. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-6-38-41
25. Zeyang Song, Claudia Kuenzer. Coal fires in China over the last decade: A comprehensive review // International Journal of Coal Geology. – 2014. – Vol. 133, 1. – P. 72–99. DOI: 10.1016/j.coal.2014.09.004
26. Karoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data // International Journal of Coal Geology. – 2014. – Vol. 128–129. – P. 109–118. DOI: 10.1016/j.coal.2014.04.011
27. Бойко Е.А. Комплексный термический анализ твердых органических топлив: моногр. – 2-е изд. – Красноярск, 2006. – 407 с.
28. Сазанов Ю.Н. Термический анализ органических соединений. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 368 с.
29. The handbook of Thermal. Anal. Cal. / Eds. M.E. Brown, P.K. Gallagher. – Amsterdam: Elsev., 2008. – Vol. 5. – 827p.
30. Maryandyshev P.A., Chernov A.A., Lyubov V.K. Thermogravimetric and kinetic investigations of peat and hydrolytic lignine // International Journal of Experimental Education. – 2014. – № 12. – С. 20–27.

31. Xue Y., Liu J., Liang J. Correlative study of critical reactions in polyacrylonitrile based carbon fiber precursors during thermal-oxidative stabilization // *Polymer Degradation and Stability*. – 2013. – Vol. 98. – P. 219–229. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.018

32. Совершенствование требований к показателям углей для пылевидного сжигания на ТЭС и методов их опробования / Н.В. Чернявский, А.В. Косячков, Ю.Н. Филиппенко, Е.В. Рудавина, А.Н. Воронов // *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика*. – 2013. – Вып. 5. – С. 137–149.

33. Уэндландт У. Термические методы анализа / пер. с англ. под ред. В.А. Степанова, В.А. Берштейна. – М.: Мир, 1978. – 526 с.

34. Применение методов термического анализа при производстве пожарно-технических экспертиз / Л.В. Дашко, А.В. Довбня, В.Ю. Ключников, Г.В. Плотникова // *Вестник Восточно-Сибирского института МВД России*. – 2012. – № 1 (60). – С. 59–64.

35. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: методические рекомендации / Е.Д. Андреева, М.Ю. Принцева, С.А. Кондратьев, И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2013. – 60 с.

36. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под науч. ред.

Н.А. Андреева; СПбИПБ МВД России. – 2-е изд., стр. – СПб., 1997. – 562 с.

37. Research on characteristic parameters of coal dust explosion / Weiguoa Cao, Liyuana Huang, Jianxinb Zhang, Sen Xu, Shanshana Qiu, Feng Pan // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 45. – P. 442–447. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.183

38. Melody S.M., Johnston F.H. Coal mine fires and human health: What do we now? // *International Journal of Coal Geology*. – 2015. – 152. – P. 1–14. DOI: 10.1016/j.coal.2015.11.001

39. Tolvanen H., Kokko L., Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a drop tube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling // *Fuel*. – 2013. – Vol. 111. – P. 148–165. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.04.030.

40. Filho S., Gomes C., Milioli F.E. A thermogravimetric analysis of the combustion of a Brazilian mineral coal [Электронный ресурс] // *Quim. Nova*. – 2008. – Vol. 31, № 1. – P. 98–103. – URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100021&lng=en&nrm=iso (дата обращения: 20.06.2017).

41. ГОСТ Р 56721-2015. Пластмассы. Термогравиметрия полимеров. Ч. 1. Общие принципы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61681/> (дата обращения: 20.06.2017).

References

1. Chernysheva E.A. Vлага v ugliakh kak parametr kachestva produktsii [Moisture in the coals as a parameter of product quality]. *Ugol'*, 2016, no.8, pp.125-128. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-8-125-128

2. Coal dust, available at: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol68/mono68-12.pdf> (accessed: 20 June 2017).

3. GOST 33654-2015. Ugli burye, kamennye i antratsit. Obshchie trebovaniia k metodam analiza [Coals are brown, stone and anthracite. General requirements for analysis methods], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61802/> (accessed: 20 June 2017).

4. GOST R 55661-2013. Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie zol'nosti [Solid mineral fuel. Determination of ash content], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/55374/> (accessed: 20 June 2017).

5. GOST R 55660-2013. Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie vykhoda letuchikh veshchestv [Solid mineral fuel. Determination of the yield of volatile substances], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/55585/> (accessed: 20 June 2017).

6. GOST 33623-2015. Toplivo tverdoe mineral'noe. Metod opredeleniia ravnovesnoi vlazhnosti [Solid mineral fuel. Method for determination of equilibrium moisture], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61798/> (accessed: 20 June 2017).

7. GOST 33503-2015. Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredeleniia vlagi v analiticheskoi probe [Solid mineral fuel. Methods for determining moisture in an analytical sample], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61865/> (accessed: 20 June 2017).

8. Korol'chenko A.Ia. Pozharovzryvoopasnost' promyshlennoi pyli [Fire and explosion hazard of industrial dust]. Moscow, Khimiia, 1986, 216 p.

9. Airuni A.T., Klebanov F.S., Smirnov O.V. Vzryvoopasnost' ugol'nykh shakht [Explosiveness of coal mines]. Moscow, Gornoe delo, Kimmeriiskii tsentr, 2011, 264 p.

10. Kaliakin S.A., Bulgakov Iu.F. Pozharovzryvoopasnost' otlozhenii ugol'noi pyli [Fire and explosion hazard of coal dust deposits]. *Nauchnyi vestnik NIIGD Respirator*, 2012, no. 1, pp.14-27.

11. Kaliakin S.A. Analiz požarovzryvoopasnosti ugol'noi pyli [Analysis of fire and explosion hazard of coal dust]. *Nauchnyi vestnik NIIGD Respirator*, 2012, no.1, pp.27-35.

12. Tekhnicheskii reglament o trebovaniiah požarnoi bezopasnosti [Technical regulations on fire safety requirements]. Federal'nyi zakon ot 22 iuliia 2008 goda no. 123-FZ (s izmeneniiami na 29 iuliia 2017 goda), available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (accessed: 20 June 2017).

13. GOST 12.1.044-89. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelei i metody ikh opredeleniia (s izmeneniiem no.1) [Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for determining them (with the change No. 1)], available at: <http://npopris.ru/wp-content/uploads/2015/03/ГОСТ-12.1.044-89.pdf> (accessed: 20 June 2017).

14. Baratov A.N., Korol'chenko A.Ia., Kravchuk G.N. et al. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniia [Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing agents]. Moscow, Khimiia, 1990.

15. Korol'chenko A.Ia., Korol'chenko D.A. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniia [Fire and explosion hazard of substances and materials and their extinguishing agents]. Moscow, Pozhnauka, 2004.

16. Informatsionnyi biulleten' Federal'noi sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [Information Bulletin of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. Upravlenie po nadzoru v ugol'noi promyshlennosti. *Ugol'naiia promyshlennost'*, 2016, no. 4 (85), pp.1-7.

17. Tarzanov I.G. Itogi raboty ugol'noi promyshlennosti Rossii za ianvar' – dekabr' 2015 goda [Results of the work of the Russian coal industry in January-December 2015]. *Ugol'*, 2015, no.3, pp.58-72. DOI: 10.18796/0041-5790-2015-12-58-72
18. Tarzanov I.G. Itogi raboty ugol'noi promyshlennosti za ianvar' – iyun' Rossii 2016 goda [Results of the work of the coal industry in January-June of Russia in 2016]. *Ugol'*, 2016, no.9, pp.46-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-9-46-62
19. Nosenko V.D. Kak iskluchit' vzyryvy metana v shakhte [How to exclude methane explosions in the mine]. *Ugol'*, 2016, no.6, pp.37.
20. Babkin V.A. Razvitiye ugol'noi promyshlennosti Rossiiskoi Federatsii na primere innovatsionnogo klastera Kemerovskoi oblasti "Kompleksnaia pererabotka uglia i tekhnogennykh otkhodov" [Development of the coal industry of the Russian Federation on the example of the innovative cluster of the Kemerovo region "Complex processing of coal and man-made waste"]. *Ugol'*, 2016, no.3, pp.46-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-3-50-52
21. Promyshlennaia bezopasnost' predpriatii mineral'no-syr'evogo kompleksa v XXI veke [Industrial safety of enterprises of the mineral and raw materials complex in the 21st century]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2017, no.1, pp.82-87.
22. Zaburdiaev V.S. Tekhnologicheskie resheniia po predotvrashcheniiu obrazovaniia vzyrvoopasnykh smesei v shakhtakh [Technological solutions for the prevention of the formation of explosive mixtures in mines]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2016, no.12, pp.26-31.
23. Mashintsov U.A., Kotlerevskaia L.V., Krinichnaia N.A. Tekhnologiya povysheniia bezopasnosti v ugol'noi shakhte [Technology of increasing safety in a coal mine]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2014, iss.9, part 2, pp.168-172.
24. Ordin A.A. O neobkhodimosti izmeneniia gornogo zakonodatel'stva i normativnykh aktov dlia predotvrashcheniia vzyrvovo metana na ugol'nykh shakhtakh Rossii [On the need to change mining legislation and regulations to prevent explosive methane from coal mines in Russia]. *Ugol'*, 2016, no.6, pp.38-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-6-38-41
25. Zeyang Song, Claudia Kuenzer. Coal fires in China over the last decade: A comprehensive review. *International Journal of Coal Geology*, 2014, vol.133, 1, pp.72-99. DOI: 10.1016/j.coal.2014.09.004
26. Karaoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data. *International Journal of Coal Geology*, 2014, vol.128-129, pp.109-118. DOI: 10.1016/j.coal.2014.04.011
27. Boiko E.A. Kompleksnyi termicheskii analiz tverdykh organicheskikh topliv [Complex thermal analysis of solid organic fuels]. Krasnoarsk, 2006, 407 p.
28. Sazanov Iu.N. Termicheskii analiz organicheskikh soedinenii [Thermal analysis of organic compounds]. Saint Petersburg, Izdatel'stvo Politekhnikeskogo universiteta, 2016, 368 p.
29. Brown M.E., Gallagher P.K. (Eds). The handbook of Thermal. Anal. Amsterdam, Elsev., 2008, vol.5, 827 p.
30. Maryandyshev P.A., Chernov A.A., Lyubov V.K. Thermogravimetric and kinetic investigations of peat and hydrolytic lignine. *International Journal of Experimental Education*, 2014, no.12, pp.20-27.
31. Xue Y., Liu J., Liang J. Correlative study of critical reactions in polyacrylonitrile based carbon fiber precursors during thermal-oxidative stabilization. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, vol.98, pp.219-229. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.018
32. Cherniavskii N.V., Kosiachkov A.V., Filippenko Iu.N., Rudavina E.V., Voronov A.N. Sovershenstvovanie trebovaniy k pokazateliam uglia dlia pylevidnogo szhiganiia na TES i metodov ikh oprobovaniia [Improvement of requirements for coal indicators for pulverized combustion at TPPs and methods for their testing]. *Tekhnicheskaiia teplofizika i promyslovaia teploenergetika*, 2013, iss.5, pp.137-149.
33. Uendlandt U. Thermal methods of analysis. Moscow, Mir, 1978, 526 p.
34. Dashko L.V., Dovbnia A.V., Kliuchnikov V.Iu., Plotnikova G.V. Primenenie metodov termicheskogo analiza pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskikh ekspertiz [Application of thermal analysis methods in the production of fire-technical expertise]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii*, 2012, № 1 (60), pp.59-64.
35. Andreeva E.D., Printseva M.Iu., Kondrat'ev S.A., Cheshko I.D. Primenenie termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pozharov: metodicheskie rekomendatsii [Application of thermal analysis in the study and examination of fires: guidelines]. Moscow, VNIPO, 2013, 60 p.
36. Cheshko I.D. Ekspertiza pozharov (ob"ekty, metody, metodiki issledovaniia) [Examination of fires (objects, methods, research methods)]. Ed. N.A. Andreev. Saint Petersburg, SPbIPB MVD Rossii, 1997, 562 p.
37. Weiguoa Cao, Liyuana Huang, Jianxin Zhang, Sen Xu, Shanshana Qiu, Feng Pan. Research on characteristic parameters of coal dust explosion. *Procedia Engineering*, 2012, vol.45, pp.442-447. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.183
38. Melody S.M., Johnston F.H. Coal mine fires and human health: What do we now? *International Journal of Coal Geology*, 2015, 152, pp.1-14. DOI: 10.1016/j.coal.2015.11.001
39. Tolvanen H., Kokko L., Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a drop tube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling. *Fuel*, 2013, vol.111, pp.148-165. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.04.030.
40. Filho S., Gomes C., Milioli F.E. A thermogravimetric analysis of the combustion of a Brazilian mineral coal. *Quim. Nova*, 2008, vol.31, no.1, pp.98-103, available at: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100021&lng=en&nrm=iso> (accessed: 20 June 2017).
41. GOST R 56721-2015. Plastmassy. Termogravimetriia polimerov. Part 1. Obschie printsipy [Plastics. Thermogravimetry of polymers. Part 1. General principles], available at: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/61681/> (accessed: 20 June 2017).

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Родионов В.А., Пихконен Л.В., Жихарев С.Я. Дисперсность каменноугольной пыли марки Ж Воргашорского месторождения и её влияние на процесс термической деструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т.16, №4. – С.350–356. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.6

Please cite this article in English as:

Rodionov V.A., Pikhkonen L.V., Zhikharev S.Ya. Dispersion of the G-type coal dust of the Vorgashorskoe field and its influence on the thermal destruction process. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2017, vol.16, no.4, pp.350-356. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.4.6