

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-45-49

УДК 622.814

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

MODELING OF DUST PROCESSES AND THEIR INFLUENCE ON THE DISPERSED COMPOSITION OF COAL DUST

Харлампенкова Юлия Александровна,
вед.инженер, e-mail: kon.julija@gmail.com
Julia A. Kharlampenkova, Leading engineer
Патраков Юрий Фёдорович,
д.х.н., профессор, e-mail: yupat@icc.kemsc.ru
Yury F. Patrakov, D. Sc. (Chemistry), Professor

Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии СО РАН (Институт угля СО РАН),
650065 г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10. Россия
Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences (Institute of coal SB RAS), 650065, Kemerovo, Leningradskiy Ave., 10. Russia

Аннотация: В статье рассмотрены дополнительные источники пылеобразования при использовании механизированной крепи в забое. К ним относятся раскалывание угля (удар), раздавливание (сжатие кусков) и трение кусков угля друг о друга и по металлической поверхности крепи. Представлена характеристика (дисперсность), описывающая количество взвешенной и отложившейся пыли. Изучение дисперсности (гранулометрического состава) угольной пыли проводилось на экспериментальной установке, состоящей из лазерного дифракционного микроанализатора для автоматического гранулометрического экспресс-анализа ANALYSETTE 22 COMFORT производства компании FRITSCH GmbH, Laborgerätebau (Германия) и вспомогательного оборудования. Установлено, что наиболее мелкодисперсная пыль будет образовываться в процессе взаимодействия трущихся поверхностей кусков разрушенного массива. В плане взрываемости наиболее опасная пыль образовывается в процессе ударного воздействия. Этот факт необходимо будет учитывать при отборе образцов угольной пыли в реальных условиях проведения технологических испытаний и разработке рекомендаций по пылеподавлению.

Ключевые слова: разрушение горного массива, пылеобразование, взрываемость угольной пыли, дисперсный состав пыли.

Abstract: In the article additional sources of dust formation are considered when using powered support in the face. These include coal splitting (impact), crushing (compressing lumps) and rubbing of coal pieces against each other and against the metal surface of the support. A feature (dispersity) describing the amount of suspended and deposited dust is presented. A study of the dispersion (particle size distribution) of coal dust was carried out in an experimental setup consisting of a laser diffraction microanalyzer for automatic granulometric express analysis ANALYSETTE 22 COMFORT of FRITSCH GmbH, Laborgerätebau (Germany) and auxiliary equipment. It is established that the finest dust will be formed in the process of interaction of rubbing surfaces of pieces of the destroyed rock. In terms of explosivity, the most dangerous dust is formed in the process of impact. This fact will need to be taken into account in the selection of coal dust samples under real conditions of technological tests and development of recommendations on dust suppression.

Key words: destruction of rock strata, dust formation, coal dust explosivity, dispersed dust composition.

Угольная пыль является одним из основных факторов, обуславливающих пожаровзрывоопасность угольных шахт [1]. Выбор конкретных мероприятий по борьбе с пылью определяется горнотехническими и горно-геологическими условиями в зависимости от удельного пылевыведения в процессе разрушения горной массива. К

горнотехническим условиям, определяющим количество и дисперсный состав угольной пыли [2,3] относятся организация технологического процесса разработки пласта, тип добычного оборудования и его производительность, мероприятия по пылеподавлению, организация проветривания горной выработки. Так, например, при внедрении

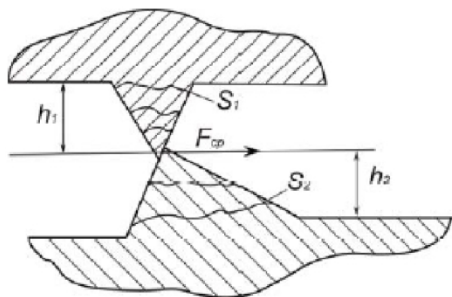


Рис.1 - Схема элементарного взаимодействия шероховатых поверхностей.

Fig.1- Scheme of elementary interaction of rough surfaces.

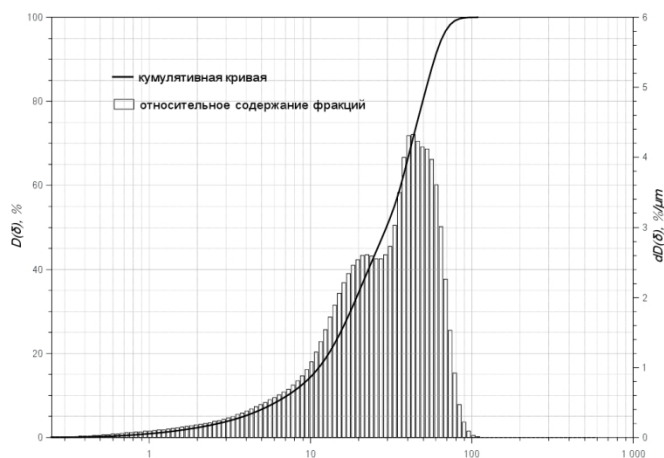


Рис. 2 - Дисперсный состав пыли, полученной разрушением кусков угля методом сжатия

Fig. 2 - Dispersed composition of dust obtained from breaking pieces of coal by compression

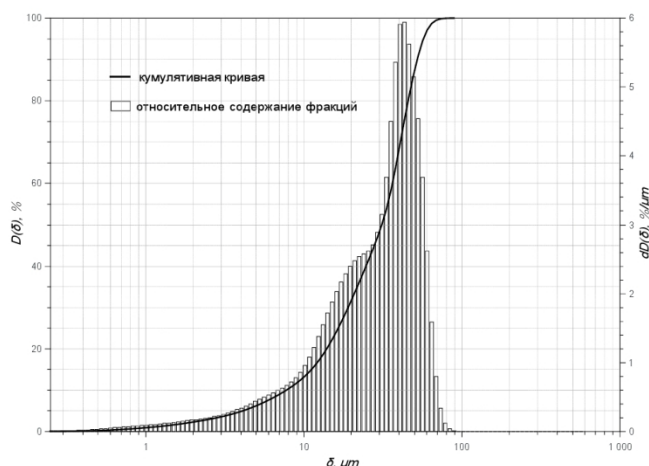


Рис.3 - Дисперсный состав пыли, полученной трением кусков угля друг о друга

Fig.3 - The dispersed composition of the dust obtained from rubbing pieces of coal against each other

предлагаемого авторами [4] способа отработки мощных угольных пластов с использованием механизированной крепи с управляемым выпуском

подкровельной толщи угля на забойный конвейер разрушение угольного пласта над крепью может являться дополнительным источником образования пыли по причине раскалывания (удара) и раздавливания (сжатия) кусков угля [5,6], а также трения кусков угля друг о друга и по металлической поверхности крепи и транспортирующей арматуры [7].

При разрушении массива, падении кусков и т. п., происходит обязательное смещение и трение кусков разрушенного массива, вызванное силами давления режущего инструмента, гравитационными силами и силами инерции. Разрушение массива и образование крупных трущихся кусков происходит главным образом по имеющимся различным нарушениям в массиве [8,9], границам зерен и кристаллов, посторонним включениям и т.п. При трении двух шероховатых поверхностей процесс образования пыли зависит, прежде всего, от степени шероховатости поверхностей, сил взаимодействия и прочностных свойств трущихся материалов (рис.1).

В общем случае процесс взаимодействия двух выступов при трении поверхностей может окончиться разрушением одного из выступов или проскальзыванием трущихся поверхностей без разрушения. Результат взаимодействия зависит при этом от множества факторов (относительной скорости, массы кусков, силы внешнего давления, формы выступов, вида материалов и т.д.) и носит вероятностный характер [10]. Таким образом, в процессе взаимодействия может произойти скалывание любого из двух выступов шероховатости и образование частиц.

Количество взвешенной и отложившейся пыли в свою очередь будет определяться дисперсностью образующейся пыли и местом ее отбора. Под дисперсным составом пыли [11] понимают количественное соотношение частиц различных размеров. Наиболее опасны в отношении взрыва пылевые частицы размером от 10 до 75 мкм. Тонкодисперсная пыль размером менее 10 мкм обладает пониженной взрывчатостью. Наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает угольная пыль с размерами частиц 45 мкм [12,1]. Без характеристики степени дисперсности нельзя объективно оценить эффективность действующих пылеочистных устройств [14].

Обычно такое распределение для каждого конкретного случая устанавливается экспериментально одним из известных методов

дисперсионного анализа [15]. В данной работе, изучение дисперсности (гранулометрического состава) угольной пыли проводилось на экспериментальной установке, состоящей из лазерного дифракционного микроанализатора для автоматического гранулометрического экспресс-анализа ANALYSETTE 22 COMFORT производства компании FRITSCH GmbH, Laborgerätebau (Германия) и вспомогательного оборудования.

В качестве объекта исследований дисперсного состава угольной пыли принят пласт шахты «Ольжерасская-Новая» Ольжерасского месторождения. Уголь пласта относится к марке ГЖО. Строение пласта сложное, включает несколько породных прослоек мощностью от 0,05 до 0,1 м. Уголь средней крепости, коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова 1-1,4. Предел прочности угля на сжатие 9,7-13,8 МПа. Сопротивление угля при растяжении 0,8-1,2 МПа. Объемный вес – 1,36 т/м³.

Результаты статистической обработки распределения частиц пыли по размерам при различных методах воздействия представлены в таблице

| Характеристика | Метод сжатия | Трение друг о друга | Ударное воздействие |
|------------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Среднеарифметический диаметр, мкм | 24,42 | 18,43 | 35,53 |
| Среднегеометрический диаметр, мкм | 38,28 | 31,36 | 53,45 |
| Гармонический средний диаметр, мкм | 42,98 | 40,98 | 63,71 |
| Мода, мкм | 30,53 | 25,02 | 45,44 |
| Медиана, мкм | 1,07 | 1,05 | 1,02 |

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что дисперсный состав образцов угольной пыли пластовой пробы угля полученных в лабораторных условиях моделирующих различные механизмы разрушения угля в процессе обрушения угольного пласта и перемещения угольной массы существенно отличается. Во всех случаях наблюдается бимодальное распределение частиц по крупности. При этом угольная пыль, полученная в процессе трения кусков угля друг о друга, имеет существенно меньший среднеарифметический диаметр – 18,4 мкм, соответственно сжатием – 24,4 мкм и

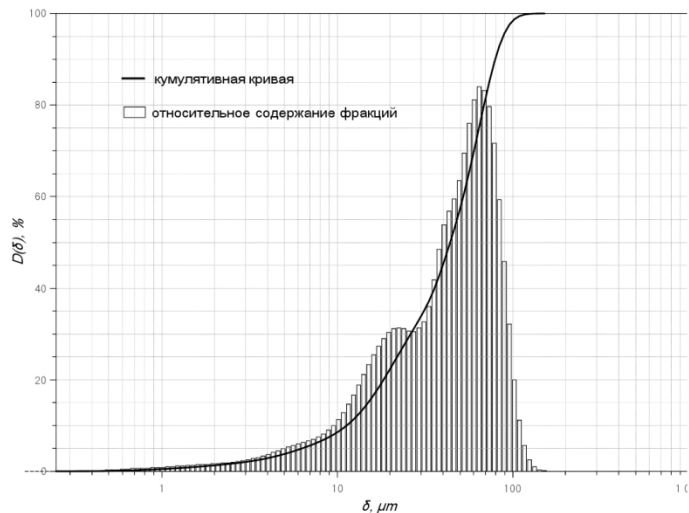


Рис. 4 - Дисперсный состав пыли, полученной разрушением кусков угля ударным воздействием
 Fig. 4 - Disperse composition of dust obtained by breaking pieces of coal by impact

ударом – 35,5 мкм. В связи с этим можно полагать, что в реальных условиях технологии выпуска угля подкровельной толщи наиболее мелкодисперсная пыль будет образовываться в процессе взаимодействия трущихся поверхностей кусков разрушенного массива, то есть процесса, который является определяющим при пылеобразовании. Однако в плане взрываемости наиболее опасная пыль будет образовываться в процессе ударного воздействия [12]. Этот факт необходимо будет учитывать при отборе образцов угольной пыли в реальных условиях проведения технологических испытаний и разработке рекомендаций по пылеподавлению.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Соглашение № 14.604.21.0173 от 26.09.2017 г. с Министерством образования и науки Российской Федерации «Разработка технологии эффективного освоения угольных месторождений роботизированным комплексом с управляемым выпуском подкровельной толщи».*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айруни А. Т., Клебанов Ф. С., Смирнов О. В. Взрывоопасность угольных шахт. М.: Изд-во «Горное дело», - 2011. -264 с.
2. Трубицына Д.А., Анисимов А.А., Хлудов Д.С., Оленников С.В., Трубицына Н.В. Результаты шахтных исследований интенсивности пылеотложений по сети горных выработок // [Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности](#).-2014.-№1.-С.68-74.

3. Man C. K., Harris M.L. Participation of large particles in coal dust explosions // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. - 2014. - V. 27. – P. 49-54.
4. Клишин В.И., Клишин С.В. Исследование процессов выпуска угля при отработке мощных пологих и крутых угольных пластов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*.-2010.- № 2. - С. 69-81.
5. Винокуров Л.В. Прогнозирование горных ударов на ружниках // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, - 2005. - № 8. - С. 78-82.
6. Ефимов В.П. Особенности разрушения образцов хрупких горных пород при одноосном сжатии с учетом характеристик зерен // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*.-2018.-№2.-С.18-26. DOI:10.15372/FTPRPI120180203
7. Ning Shi, Huang Zhizeng. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain*. - July 20 – 21. - 2015. - P. 354.
8. [T.Davis](#), [D.Healy](#), [A.Bubeck](#), [R.Walker](#). Stress concentration around voids in three dimensions: The roots of failure // *Journal of Structural Geology*.-2017.-Vol 102.- P. 193-207.
9. Викторов С.Д. взрывное разрушение массивов горных пород – основа прогресса в горном деле // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, - 2015. - № S1. - С. 63-75.
10. Голинько В.И., Лебедев Я.Я., Новикова Е.А. Анализ процесса пылеобразования при добыче и транспортировке полезных ископаемых // *IV межд. научно-практическая конференция. НГУ*.-2010. - С.126-135.
- 11.Стреляева А. Б., Маринин Н. А., Азаров А. В. О значимости дисперсного состава пыли в технологических процессах // *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая*.-2013.-Вып.3(28).-URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaMarininAzarov-2013_3\(28\)](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaMarininAzarov-2013_3(28))
12. Лебецкий К.А., Романченко С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр». Библиотека горного инженера.- Т.6 «Промышленная безопасность».- Кн.10.- 2012. -С.464
- 13.Li Q, Wang K., Zheng Yu., Ruan M. , Mei X., Lin B. Experimental research of particle size and size dispersity on the explosibility characteristics of coal dust // *Powder Technology*. - 2016. - V. 292. – P. 290–297.
- 14.Голинько В.И., Колесник В.Е. Контроль пылеотложения в горной выработке по содержанию пыли в воздухе с учетом закономерностей ее оседания // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, - 2002. - № 1. - С. 13-18.
- 15.Романченко С.Б., Ищук И.Г. Современные методы анализа формы и дисперсного состава угольной пыли // *Научн.сообщ. ННЦ ГП – ИГД им.А.А.Скочинского*. М.,-2007. - Вып.333. - С. 270-286.

REFERENCES

1. Ayruni A.T., Klebanov F.S., Smirnov O.V. Explosion hazard of coal mines. М.: Publishing house "Mining",- 2011.- 264 p.
2. Trubitsyna D.A., Anisimov A.A., Khludov D.S., Olennikov S.V., Trubitsyna N.V. The results of mining studies of the intensity of dust deposition in the network of mining outflows // *Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Works in the Coal Industry*.-2014.-№1.-С.68-74.
3. Man C. K., Harris M.L. Participation of large particles in coal dust explosions // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. - 2014. - V. 27. – P. 49-54.
4. Klishin V.I., Klishin S.V. Investigation of the processes of coal output during the development of powerful shallow and steep coal seams // *Physico-technical problems of mining*. - 2010. - № 2- P. 69-81.
5. Vinokurov L.V. Prediction of rock bursts on a manganese drill // *Mining Informational Analytical Bulletin*, - 2005. - № 8. - P. 78-82.
6. Efimov V.P. Features of fracture of fragile rock samples under uniaxial compression taking into account grain characteristics // *Physico-technical problems of mining*.-2018.-No.2-P.18-26. DOI: 10.15372 / FTPRPI120180203
7. Ning Shi, Huang Zhizeng. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain*.- July 20 - 21. -2015.- P. 354.
- 8 [T.Davis](#), [D.Healy](#), [A.Bubeck](#), [R.Walker](#). Stress concentration around voids in three dimensions: The roots of failure // *Journal of Structural Geology*.-2017.-Vol 102.- P. 193-207.
9. Viktorov S.D. The explosive destruction of rock massifs is the basis of progress in mining // *Mining*

information and analytical bulletin, - 2015. - № S1. - P. 63-75.

10. Golinko V.I., Lebedev Ya.Ya., Novikova E.A. Analysis of the process of dust formation during extraction and transportation of minerals // IV Int. scientific and practical conference. NSU. - 2010. - P. 126-135.

11. A. B. Strelyaeva, N. A. Marinin, A. V. Azarov. On the significance of the dispersed composition of dust in technological Processes // Internet Bulletin of VolgGASU. Ser. : Polythematic. - 2013. - Vol. 3 (28). - URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaMarininAzarov-2013_3\(28\)](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/StrelyaevaMarininAzarov-2013_3(28))

12. Lebedsky K.A., Romanchenko S.B. Dust explosiveness of mining production. M. : Publishing house "Mining" LLC "Cimmeria Center". Library of the mining engineer. -T.6 "Industrial Safety". - Book 10. - 2012. - P.464

13. Li Q, Wang K., Zheng Yu., Ruan M. , Mei X., Lin B. Experimental research of particle size and size dispersity on the explosibility characteristics of coal dust // Powder Technology. - 2016. - V. 292. – P. 290–297.

14. Golinko V.I, Kolesnik V.E. Control of dust deposition in the mining of dust content in the air, taking into account the patterns of its subsidence // Mining Information Analytical Bulletin, -2002. -№ 1.-P. 13-18.

15. Romanchenko S.B., Ischuk I.G. Modern methods of analysis of the shape and dispersion of coal dust // Scien. Generali. NSC GP - IGD named after A.A. Skochinsky. M., -2007. -Issue 333.- P. 270-286.

Поступило в редакцию 09.08.2018

Received 09 August 2018