УДК 622.81:
614.833.5

В.Г. Черечукин, Е.И. Любомищенко

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРЕДЕЛОВ ВЗРЫВООПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Приведен анализ методики определения выхода летучих при нагревании проб угольной пыли по ГОСТ Р 55660-2013. Показано, что выход летучих веществ применим для определения использования угля в металлургии. Из-за различия условий сгорания угольной пыли в шахтной атмосфере этот показатель не дает объективной информации о нижнем массовом концентрационном пределе возгораемости и взрывоопасности угольной пыли. Показателями взрывоопасности являются фракционный состав витающих частиц органического происхождения и минимальная молярная масса этого фракционного состава, при возгорании которой выделяется достаточное количество тепловой энергии для воспламенения соседних слоев угольной пыли.

Ключевые слова: угольная пыль, выход летучих веществ, взрыв, горение, взрывоопасность, химические элементы, тепловая энергия.

Взрывчатые свойства угольной пыли известны давно. Впервые опытный взрыв угольной пыли, без участия горючего газа, был продемонстрирован Фарадеем в 1845 г., но систематическое изучение пыли стало проводиться с 1908 г. Одним из направлений исследований в этой области является определение минимальной концентрации пылевого облака, при которой пыль еще способна взрываться, т.е. нижнего предела взрываемости угольной пыли.

Основными способами определения взрывоопасных концентраций витающей в шахтной атмосфере угольной пыли являются – экспериментальные взрывы пыли в специальных устройствах или расчет по эмпирическим зависимостям с уче-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 380–385.
© 2016. В.Г. Черечукин, Е.И. Любомищенко.

том содержания летучих веществ и негорючих компонентов в рабочей массе угольной пыли.

В соответствии с действующими в России Правилами безопасности в угольных шахтах [1] к опасным по взрывам угольной пыли относятся пласты угля с выходом летучих веществ более 15%. По величине этого показателя по формулам МакНИИ [2] определяется нижний массовый концентрационный предел взрываемости угольной пыли.

Целью работы является исследование с позиции фундаментальных наук физико-химической характеристики летучих веществ в угольной пыли и влияния их на процессы химических реакций при воспламенении, горении и взрыве угольной пыли.

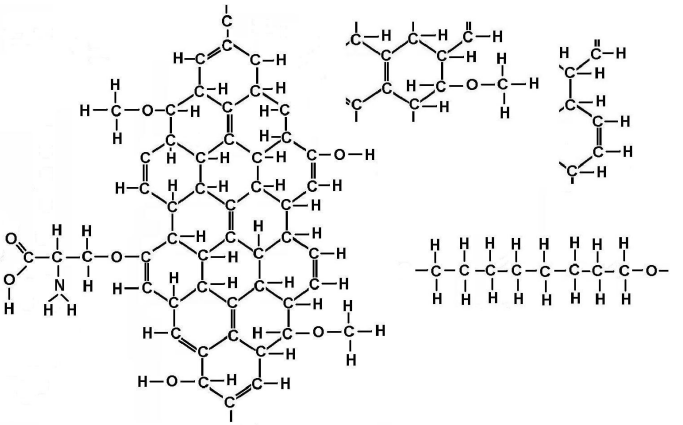
Идея состоит в том, что значения концентрационных пределов взрываемости угольной пыли не зависят от выхода летучих веществ, так как они, во-первых, не отражают содержания получаемых газов, и, во-вторых, не дают энергетических характеристик горения и взрыва: количества тепловой энергии, давления и температуры.

Объект исследования: угольная пыль, образующаяся при разрушении рабочим органом проходческого комбайна.

Выход летучих веществ в России определяют по методике ГОСТ Р 55660-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ» [3]. Угольную пробу массой 1 г измельчают до прохождения частиц через сито с размером отверстий 212 мкм, нагревают до температуры 900 °С и выдерживают без доступа воздуха в течение 7 мин. Выход летучих в процентах рассчитывают по потере массы навески с учетом массовой доля влаги в аналитической пробе.

Необходимо отметить, что условия определения показателя выхода летучих отличаются от условий, при которых происходят реальные взрывы в шахтах, за исключением, возможно, размеров витающих в воздухе частиц угольной пыли. Недостатком является то, что этот метод не позволяет определить химический состав летучих веществ и их участие во взрыве. Представление о выходе летучих веществ основано на их определении для установления марок угля и возможности использования в металлургии.

Как известно угольная масса является продуктом глубокого разложения остатков древних растений с сохранением частиц макромолекулярного строения органической части. При разрушении угольного пласта образуется пыль, состоящая как из минеральных негорючих компонентов, так и угольная пыль.



Фрагмент макромолекулы витринита органической массы угля [5]

Под пылью понимаются частицы, витающие достаточно долгое время в шахтной атмосфере. Структурно-вещественный состав витающих частиц пыли состоит из органического вещества, содержащего такие химические элементы, как углерод, водород, кислород. Более крупные частицы осаждаются на оборудовании, почву горных выработок. Опасность для возникновения возгорания и взрыва представляют частицы размером до 75 мкм [4], которые в момент появления источника зажигания находятся в облаке пыли.

В соответствии с известными определениями горения и взрыва в органической массе угольной пылинки происходят термохимические реакции с поглощением и выделением энергии. Выделяющиеся газовые продукты при горении, а также возможные отдельные частицы макромолекул и являются выходом летучих веществ. На рисунке приведен фрагмент усредненной макромолекулы и возможные ее части, которые могут быть и летучими веществами при недостаточной энергии разложения молекулы. Химические формулы отколовшихся от макромолекулы фрагментов $C_{10}H_9O$, C_6H_7 и $C_8H_{16}O$.

Во время горения угольной пыли выделяется тепловая энергия. Количество ее зависит от массы органического вещества пыли и соответственно массовой концентрации таких элементов, как водород и углерод, которые и определяют количество этой энергии. Содержание этих элементов и определяет нижний массовый концентрационный предел, при котором выделяющейся энергии будет достаточно для воспламенения соседних объемов угольной пыли.

Расчетные значения пылинок угля с различными параметрами

Показатели угольных частиц	Значения показателей при средней длине (мкм) 1 пылинки							
	0,5	1	5	10	20	30	50	100
Суммарное количество пылинок в 1 г, пылинки/г	$1,6\times10^{13}$	$1,6\times10^{12}$	$2,13\times10^{10}$	$4,0\times10^{9}$	$4,0\times10^{8}$	$1,76\times10^{8}$	$6,4\times10^{7}$	$0,533\times10^{7}$
Суммарная площадь поверхности пылинок в 1 г, см^2/г	$1,28\times10^{5}$	$0,64\times10^{5}$	$1,7\times10^{4}$	$1,12\times10^{4}$	$0,48\times10^{4}$	$4,22\times10^{3}$	$3,84\times10^{3}$	$1,39\times10^{3}$

Нижний концентрационный предел зависит также и от размеров угольной пыли, или точнее, от суммарной площади поверхности участвующей пыли в горении. Чем больше суммарная площадь поверхности пылинок, тем больше будет выделяемая энергия в единице времени. Из таблицы видно, что суммарная площадь поверхности пылинок различных параметров в массе 1 г изменяется значительно.

Исследованиями В.И. Бабий и И.Ф. Поповой [6] экспериментальным путем установлено, что в частицах пыли размером менее 150 мкм не было обнаружено горения летучих веществ у поверхности. Это значит, что выход летучих веществ отсутствовал. Эндогенные и экзогенные реакции происходили внутри массы частиц. Выделялась только тепловая энергия, а частица превращалась в газообразные молекулы.

Фактор площади поверхности одновременно сгораемых пылинок показывает, что из-за неодинаковой массы пылинок в первую очередь полностью сгорают частицы наименьших размеров. При этом их выделяемой энергии должно быть достаточно для передачи тепловой энергии соседним объемам пыли. Таким образом, суммарная масса таких частиц сгораемых одновременно и формирует нижний массовый концентрационный предел взрываемости угольной пыли.

Выполненные исследования показали, что выход летучих веществ является показателем разрушения макромолекул органического вещества и характеризует процентную концентрацию алифатических групп.

Показателями взрывоопасности являются фракционный состав витающих частиц органического происхождения и минимальная молярная масса этого фракционного состава, при возгорании которой выделяется достаточное количество тепловой энергии для воспламенения соседних слоев угольной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федеральные* нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Приказ Ростехнадзора от 19 ноября 2013 года № 550.
2. *Нецепляев М. И.*, *Любимов А. И.*, *Петрухин П. М. и др.* Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. – М.: Недра, 1992. –298 с.: ил.
3. *ГОСТ Р 55660-2013* Национальный стандарт Российской Федерации «Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ».
4. *Лебецки К. А.*, *Романченко С. Б.* Пылевая взрывоопасность горного производства. – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 464 с.
5. *Колесниченко Е. А.*, *Артемьев В. Б.*, *Колесниченко И. Е.* Внезапные выбросы метана: теоретические основы. – М.: Горное дело Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2013. – 232 с.
6. *Бабий В. И.*, *Попова И. Ф.* О некоторых особенностях выгорания мелких фракций угольной пыли // Инженерно-физический журнал. – 1971. – т. 21. – № 3. – С. 411–418. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Черечукин Владимир Геннадьевич – заместитель начальника Управления ВГСЧ МЧС России, соискатель, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Любомищенко Екатерина Игоревна – кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 5, pp. 380–385.

UDC 622.81: 614.833.5

V.G. Cherechukin, E.I. Lyubomishchenko

THEORETICAL RESEARCH OF THE VOLATILE MATTER EXIT EFFECT ON THE CONCENTRATION LIMIT DETECTION OF THE COAL DUST EXPLOSION RISK

It's offered analysis of the volatile matter exit detection method when the coal dust sample is heated as per GOST Standard. It is demonstrated, that the volatile matter exit is applicable for determination of the coal using in the metallurgy. Due to the difference of coal dust combustion conditions in mine atmosphere, this index does not give objective information about the lower concentration mass limit of dust combustion and explosion risk. The explosion risk figures are fractional composition of organic hover entities and the minimal molar mass of this fractional composition, and the combustion of which is accompanied by heat energy production for ignition of the next dust layers.

Key words: coal dust, volatile matter exit, explosion, combustion, explosion risk, chemical entities, heat energy.

AUTHORS

Cherechukin V.G., Deputy Head of Department,
Department of Mines Rescue Services of Emercom of Russia,
Applicant, M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Novocherkassk, Russia, e-mail: rektorat@npi-tu.ru,
Lubomitchenko E.I., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Shakhty Institute (branch) of Platov South-Russian State
Polytechnic University (NPI), 346500, Shakhty, Russia.

REFERENCES

1. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh»*. Prikaz Rostekhnadzora ot 19 noyabrya 2013 goda № 550 (Federal industrial safety codes and regulations «Safety Regulations in Coal Mines», pr. by Rostekchnadzor, 19.11.2013, no 550).

2. Netseplyaev M. I., Lyubimov A. I., Petrukhin P. M. *Bor'ba so vzryvami ugol'noy pyli v shakhtakh* (Fighting with the coal dust in mines), Moscow, Nedra, 1992, 298 p.

3. *Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie vykhoda letuchikh veshchestv. GOST R 55660-2013* (Solid mineral fuel. Determination of volatile matter. State Standard R 55660-2013).

4. Lebetski K. A., Romanchenko S. B. *Pylevaya vzryvoopasnost' gornogo proizvodstva* (Dust explosion risk in mining), Moscow, Izd-vo «Gornoe delo» OOO «Kimmeriyskiy tsentr», 2012, 464 p.

5. Kolesnichenko E. A., Artem'ev V. B., Kolesnichenko I. E. *Vnezapnye vybrosy metana: teoreticheskie osnovy* (Methane sudden rush: theoretical basis), Moscow, Izd-vo «Gornoe delo» OOO «Kimmeriyskiy tsentr», 2013, 232 p.

6. Babiy V. I., Popova I. F. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 1971, vol. 21, no 3, pp. 411–418.

ОТ РЕДКАЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 4 2016 г. в статье автора Семеновой И.Э. «Исследование трансформации напряженно-деформированного состояния Хибинской апатитовой дуги в процессе крупномасштабной выемки полезных ископаемых» на с. 300 допущена техническая ошибка.

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
300	Масштабы промышленной деятельности, связанной с выемкой полезных ископаемых неуклонно растут. В настоящее время из земных недр ежегодно извлекается около ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 300–313. ©2016. И.Э. Семенова.	Масштабы промышленной деятельности, связанной с выемкой полезных ископаемых, неуклонно растут. В настоящее время из земных недр ежегодно извлекается около * Исследования выполнены в рамках гранта по приоритетному направлению деятельности РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» № 14-17-00751. ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 300–313. ©2016. И.Э. Семенова.