

УДК 622.814

Ю. В. КУДИНОВ, *д-р техн. наук, зав. отд.*,
А. В. ВОЛОДИН, *зав. лаб.*; *МакНИИ, г. Макеевка*

О МЕХАНИЗМЕ ВЗРЫВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Показано несоответствие классической теории взрыва угольной пыли Н.Н. Семенова некоторым экспериментальным данным и обосновано предположение, что взрыв пылевоздушной среды обусловлен горением частиц угля, как в газовой, так и в твердой фазе.

Ключевые слова: взрыв, угольная пыль, газовая фаза, фронт пламени, летучие вещества, авария.

Как известно, угольная пыль является не только причиной профессиональных заболеваний пылевой этиологии, а и причиной крупных аварий – взрывов метанопылевоздушной среды. Взрывы с участием угольной пыли нередко приводят к групповым несчастным случаям и тяжелым экономическим последствиям. Так, взрывы метанопылевоздушной среды на шахтах ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько» 18.11.2007 г. и СП «Ш/у «Суходольское Восточное» 29.07.2011 г. унесли жизни 139 горняков и 5 горноспасателей. Авария на СП «Шахта им. М. П. Баракова» 11.03.2000 г. является примером того, что угольная пыль способна взрываться и без присутствия метана. В результате этой аварии погибло 80 человек.

Изучением взрывов угольной пыли в шахтах занимались еще с девятнадцатого века, но и на сегодняшний день нет общепризнанной теории взрыва угольной пыли.

Существует гипотеза, что взрывы угольной пыли происходят вследствие разрушения угля с последующим выделением предельных и непредельных углеводородов, наночастиц угольной пыли и др. с дальнейшим образованием метилена, а затем ацетилен, способного самовоспламеняться и инициировать взрывы ацетиленметановодородных смесей. В свою очередь, адсорбированные на поверхности наночастиц метилрадикалы, вступая в реакцию с кислородом воздуха, выделяют тепло и воспламеняют пылевоздушную смесь [1].

Еще одна гипотеза о непосредственном участии наночастиц угольной пыли в воспламенении пылевоздушной среды с последующим ее взрывом предполагает, что под действием соударений молекул воздуха с наночастицами угольной пыли происходит выделение и накопление тепла, доста-

точного для взрыва пылевоздушной среды [2]. Но данная гипотеза, как и предыдущая, экспериментально ничем не подтверждены.

Согласно классической теории взрыва Н. Н. Семенова угольная пыль горит и взрывается в газовой фазе, а именно, при нагревании частиц угольной пыли выделяются летучие вещества, с последующим их взрывом, а твердая фаза, следовательно, не принимает участие во взрыве [3, 4].

Необходимыми условиями для возникновения взрыва угольной пыли являются: наличие взвешенной в воздухе взрывчатой угольной пыли, концентрация которой превышает нижний предел взрываемости и источник воспламенения, энергии которого достаточно для нагрева пылевых частиц и выделения из них продуктов пиролиза, а время его воздействия на пылевые частицы превышает индукционный период взрыва пыли.

Основными источниками возникновения облака угольной пыли являются взрывные работы, газодинамические явления, взрыв метановоздушной среды (МВС), вследствие чего под воздействием ударной волны ранее отложившаяся угольная пыль переходит во взвешенное состояние. Однако и в этой теории есть некоторые несоответствия экспериментальным данным.

Цель данной работы – указать на эти несоответствия и обосновать предположение, что взрыв пылевоздушной среды обусловлен горением частиц угля как в газовой, так и в твердой фазе.

В результате проведенных экспериментов в МакНИИ были установлены нижние концентрационные пределы взрывчатости взвешенной в воздухе угольной пыли для нескольких пластов с различным выходом летучих веществ. Так, нижний предел взрывчатости взвешенной в воздухе угольной пыли пласта l_1 при выходе летучих веществ 41,2 % составляет 11 г/м³ [3]. Учитывая, что нижний предел взрывчатости смеси газообразных продуктов пиролиза угля практически постоянен и равен 4,2% [5], нижний предел взрывчатости данной угольной пыли должен составлять:

$$\delta = \frac{C \times \rho}{V^{daf}} \cdot 100 \quad , \text{ г/м}^3,$$

где C – нижний предел взрывчатости продуктов пиролиза угля, %;

ρ – плотность продуктов пиролиза угля, г/м³;

V^{daf} – выход летучих веществ угля, %.

$$\delta = \frac{4,2 \times 1000}{41,2} \cdot 100 = 102 \quad \text{г/м}^3.$$

По результатам экспериментальных взрывов угольной пыли, проведенных в МакНИИ, установлено, что средняя относительная убыль летучих после взрыва угольной пыли равна 34,4 %, т.е. участвует во взрыве только треть летучих веществ, содержащихся в частицах угольной пыли [3]. Принимая во внимание данный факт, при условии, что во взрыве принимает участие только газовая фаза, нижний предел взрывчатости угольной пыли пласта l_1 должен составлять – 297 г/м³, что противоречит экспериментальным данным (11 г/м³).

Решая обратную задачу, можно определить, что при взрыве данной угольной пыли концентрацией 11 г/м³ образуется 0,0016 м³ продуктов пиролиза, т. е. концентрация их будет составлять 0,16% и, следовательно, являться невзрывчатой.

Таким образом, можно утверждать, что взрыв угольной пыли происходит не только при участии летучих веществ, а и при сгорании ее в твердой фазе. Это подтверждается и несложным теоретическим расчетом.

Для оценки возможности сгорания частиц угольной пыли при взрыве в твердой фазе рассмотрим следующие исходные данные:

1. За 1 мс частица угольной пыли размером 8,5 мкм прогревается до 1100 °С [6].
2. Температура горения продуктов пиролиза на нижнем концентрационном пределе 1500-1600 К [3].
3. Толщина фронта пламени до 0,6 мм [7].
4. Нормальная скорость горения МВС на пределах взрывчатости – 0,2 м/с.
5. Температура воспламенения угольной пыли до 1120 К [3].
6. Частицы размером до 20 мкм при взрыве движутся со скоростью перемещения фронта пламени.
7. Фронт пламени перемещается относительно потока газов, созданного продуктами сгорания, расширяющихся с нормальной скоростью горения продуктов пиролиза угольной пыли.
8. Можно принять, что нормальная скорость горения МВС незначительно отличается от нормальной скорости горения продуктов пиролиза угольной пыли (в продуктах пиролиза угля содержится не менее 50% метана).

При таких исходных данных частицы угольной пыли размером менее 20 мкм будут находиться в пламени на протяжении до 3 мс при температуре, достаточной для их воспламенения и горения в твердой фазе. Таким образом, можно сделать вывод, что взрыв пылевоздушной среды обусловлен горением частиц угля как в газовой, так и в твердой фазе.

ВЫВОДЫ

Теория Н. Н. Семенова, утверждающая, что угольная пыль горит и взрывается только в газовой фазе, справедлива не для всех случаев и не всегда соответствует экспериментальным данным. Для уточнения механизма взрыва угольной пыли необходимы дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калякин С. А. Создание эффективной системы взрывозащиты угольных шахт / С. А. Калякин, Н. Р. Шевцов, И. В. Купенко // Уголь Украины. – 2012. – №2. – С. 24-30.
2. Гого В. Б. Развитие теории взрыва пылеугольного аэрозоля / В. Б. Гого // Информационные технологии в научных исследованиях и учебном процессе: сб. науч. тр. / ДонГТУ. – 2-Международ. конф. – Алчевск: ДонГТУ; Луганск: ЛУПУ. – 2006. – Спецвып. – С. 29-34.
3. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / [М. И. Нецепляев, А. И. Любимова, П. М. Петрухин и др.]. – М.: Недра, 1992. – 300 с.
4. Дубнов Л. В. Предохранительные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревич, А. И. Романов. – М.: Недра, 1973. – 320 с.
5. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / [Петрухин П. М., Гродель Г. С., Жилиев Н. И. и др.]. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Недра, 1981. – 271 с.
6. Хзмалян Д. М. Теория горения и топочные устройства: учеб. [для высш. учеб. зав.] / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
7. Физика взрыва / [Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К.П. и др.]. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

Получено: 15.05.2013

Показано невідповідність класичної теорії вибуху вугільного пилу М.М. Семенова деяким експериментальним даним та обґрунтовано припущення, що вибух пилоповітряного середовища обумовлений горінням часток вугілля, як у газовій, так і в твердій фазі.

Ключові слова: вибух, вугільний пил, газова фаза, фронт полум'я, леткі речовини, аварія.

Disagreement of the classical theory of a coal dust explosion of N. N. Semenov to some experimental data is shown and the assumption that explosion of the air-and-coal environment is caused by burning of particles of coal both in gas, and in a firm phase is proved .

Key – words: explosion, coal dust, vaporized state, flame front, volatile product, emergency.