

Калякин С.А. (д-р техн. наук, доц.)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ВЗРЫВООПАСНОСТЬ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И ПЫЛЕГАЗОВЫЙ РЕЖИМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Выполнена оценка взрывоопасности метаноугольных аэрозолей, образующихся в призабойных участках выработок при работе очистных и проходческих комбайнов. Экспериментально установлен синергетический эффект существенного снижения нижнего концентрационного предела взрываемости аэрозоля «угольная пыль – метан – воздух», относительно их нижних концентрационных пределов взрываемости в отдельности. Сформулированы предложения в пылегазовый режим для обеспечения взрывозащиты угольных шахт, предложены рекомендации по обеспечению взрывобезопасности технологических процессов горного производства.

Ключевые слова: взрыв, угольная пыль, метан, метано-пылевоздушный аэрозоль, концентрационные пределы взрываемости, взрывобезопасность, взрывозащита.

Проблема и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами. Соблюдение требований взрывобезопасности в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, – неотъемлемая часть системы охраны и безопасности труда на угледобывающих предприятиях. Для этого на шахтах введен специальный пылегазовый режим, соблюдение которого должно обеспечивать безопасность ведения горных работ. Однако взрывы метана и угольной пыли в угольных шахтах все-таки происходят и приводят к катастрофам с большим числом человеческих жертв, вызывающих социальные потрясения в обществе, к значительным разрушениям подземных и поверхностных сооружений и прямым и косвенным экономическим убыткам. В период с 2007 по 2011 годы в России, Украине и Казахстане произошли крупные катастрофы на шахтах «Ульяновская», «Юбилейная» и «Распадская» в Кузбассе, шахтах им. А.Ф. Засядько, им. Карла Маркса и «Суходольская» в Донбассе и шахтах им. Ленина и «Абайская» в Караганде, которые привели к гибели более 500 шахтеров. Эти аварии показали, что взрывозащита угольных шахт находится на низком уровне, так как не удастся достоверно установить взрывобезопасные параметры пылегазовых аэрозольных смесей, образующихся в технологических процессах горного производства и управлять взрывобезопасностью атмосферы горных выработок, а недостоверные оценки взрывоопасности газо-пылевоздушной среды приводят к ее воспламенению и взрывам на угольных шахтах.

Результаты анализа последних исследований и публикаций показали, что создание эффективной системы взрывозащиты угольных шахт, опасных по газу и угольной пыли, базируется на строгом выполнении требований пылегазового режима и соблюдении требований по концентрационным пределам взрываемости для горючих газов, угольной пыли в воздухе и отложениям пыли в горных выработках [1]. Для этого необходимо выполнение следующих мероприятий по предотвращению взрывов в угольных шахтах [2]:

- предупреждение образования и скопления взрывоопасных пылегазовых смесей в горных выработках с помощью вентиляции;
- предотвращение воспламенения возможных пылегазовых смесей путем создания предохранительной среды и применением специальных заслонов, локализирующих взрыв;
- борьба с угольной пылью, удаление пылевых отложений, а также осланцевание, орошение стенок и подошвы горных выработок.

Однако в технологическом процессе при производстве горных работ в результате разрушения горного массива и угля в угольных пластах идет генерация метана и других горючих газов с образованием большого числа мелкодисперсных частиц угольной пыли, которые образуют в трудно контролируемых местах пожаровзрывоопасные смеси. Условия воспламенения таких взрывоопасных смесей пока точно не определены, так как

зависят от их состава и многих природных и техногенных факторов. В полостях горных выработок при работе комбайнов образуются пылегазовые аэрозоли - искусственно созданная неоднородная сплошная среда, состоящая из двух или более твердых и газовых компонентов с четкой границей раздела между ними.

Взрывоопасность пылегазовых аэрозолей, которые в угольных шахтах представлены метано - пылевоздушными смесями, точно не определена, и поэтому при выполнении требований пылегазового режима могут создаваться смеси, которые способны к взрыву. Это вызывает необходимость исследования взрывчатости метано-пылеугольных аэрозолей в зависимости от их состава и концентрационных пределов взрываемости, как метана, так и угольной пыли. Решение этой проблемы позволит повысить безопасность работ в угольных шахтах, а также скорректировать и дополнить требования пылегазового режима.

Целью работы является исследование взрывчатости метано - пылеугольного аэрозоля в зависимости от его состава и концентрационных пределов взрываемости метана и угольной пыли. Это позволит выявить наиболее взрывоопасные места образования пылегазовых аэрозолей в горных выработках и уточнить требования пылегазового режима для работ в этих местах, а также наладить в них постоянный мониторинг и контроль за образованием не только метана, но и взвешенной в воздухе угольной пыли.

Результаты исследований. Генерация и миграция горючих газов из угля и запыленность воздуха в горных выработках угольных шахт определяется как горно-геологическими, так и технологическими факторами горного производства. Особую роль газопылевые композиции, образующиеся в горном производстве, играют в вопросе взрывоопасности угольных шахт. Взрывоопасность атмосферы горных выработок зависит от концентрационных пределов взрываемости газов и пылевых аэрозолей и содержания кислорода в системе «угольная пыль - горючие газы - воздух». По требованиям пылегазового режима в угольных шахтах для наиболее опасных условий подготовительных и очистных забоев горных выработок допустимая концентрация метана составляет не более 1% [3,4]. Именно при такой концентрации производит отключение электроэнергии на технологическом участке шахты система автоматической газовой защиты. Однако, при этом не учитывается факт наличия в горной выработке взвешенной в воздухе угольной пыли, горючесть и каталитические свойства которой снижают нижний концентрационный предел взрываемости метана и других горючих газов.

Одновременное присутствие метана и других горючих газов в пылегазовом аэрозоле снижают нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли. Этот факт был экспериментально установлен в МакНИИ, в результате проведенных экспериментальных работ была получена эмпирическая зависимость, позволяющая определить нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли в присутствии метана - $C_{yn}^{CH_4}$ [5]:

$$C_{yn}^{CH_4} = 53,3 \exp(-0,045V^2 - 0,69C_{CH_4}) + 1,4 \exp(-0,032V^2) A_c, \text{ г/м}^3, \quad (1)$$

где C_{CH_4} - концентрация метана в пылегазовой смеси, % об.;

V^2 - выход летучих и газов из угля, %;

A_c - зольность угля, %.

Для мелкодисперсной пыли выбросоопасного угольного пласта l_1 АП «Шахта им. А.Ф.Засядько (марка угля - Ж, выход летучих $V^2=34\%$, зольность $A_c=7,0\%$) по уравнению (1) определен ее нижний концентрационный предел взрываемости. Однако по этому уравнению могут быть получены значения нижних концентрационных пределов взрываемости метана и угольной пыли в пылегазовой системе «метан - угольная пыль -

воздух». Так зависимость нижнего концентрационного предела взрываемости метана C_{CH_4} от концентрации угольной пыли $C_{уг}$ в этой системе, включая и ее нижний концентрационный предел взрываемости, позволяет оценить взрывоопасность системы «метан - угольная пыль - воздух». Результаты расчетов взрывоопасности этой системы приведены на рис. 1 в виде графика, который описывается эмпирической зависимостью:

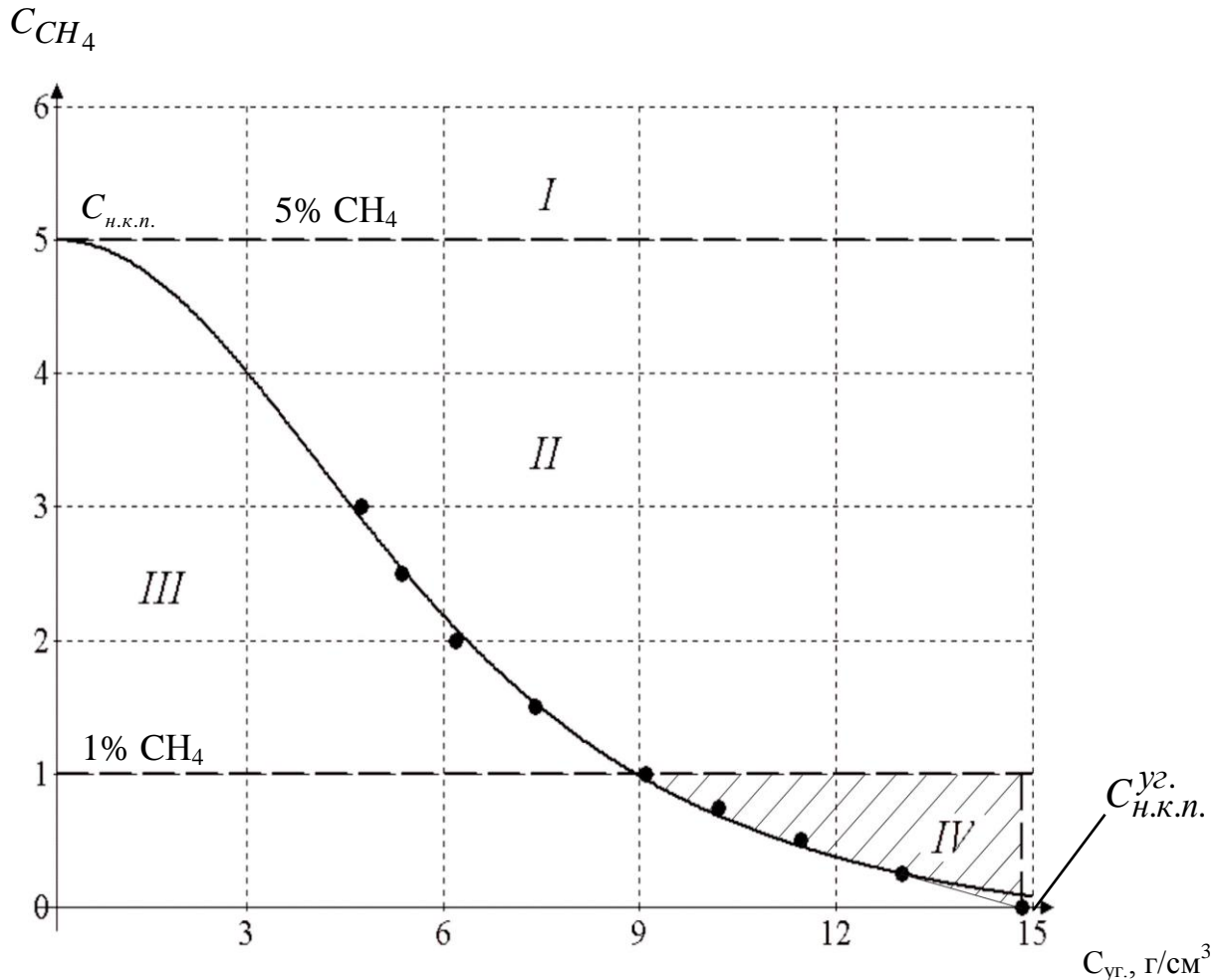


Рис.1. График зависимости нижнего концентрационного предела взрываемости метана в аэрозольной системе «метан-угольная пыль-воздух» (сплошная линия) от изменения концентрации в ней угольной пыли ($C_{уг}$) с учетом ее предела взрываемости.

$$C_{CH_4} (1 - 0,06285 C_{уг} + 0,02284 C_{уг}^2) = 5,004 - 0,03068 C_{уг}, \quad (2)$$

где C_{CH_4} в % об., а $C_{уг}$ в $г/м^3$.

Анализ полученных результатов на рис. 1. показывает, что можно четко выделить четыре области, три из которых характеризуют области взрывчатости метано - пылевоздушных смесей.

Первая – область (I), в которой концентрация метана C_{CH_4} больше его нижнего концентрационного предела взрываемости. В этой области ведущую роль в воспламенении взрывоопасной смеси играет метан. Вторая область (II) характеризует взрывчатость метано - пылевоздушных смесей, причем их взрывчатость определяется уже соотношением

концентраций метана и угольной пыли. Критическое значение этого соотношения на границе взрываемости смеси можно получить из уравнения (2):

$$0,02284 C_{\text{yz}}^2 - 0,06285 C_{\text{yz}} + 0,3068 C_{\text{yz}} / C_{\text{CH}_4} - 5,004 / C_{\text{CH}_4} + 1 = 0. \quad (3)$$

Используя критическое отношение (3) можно установить при каких концентрациях метана и угольной пыли в системе «метан - угольная пыль - воздух» она становится взрывчатой. Третья область (III) соответствует соотношениям концентраций метана и угольной пыли, при которых данная система не является взрывчатой. Однако существует и четвертая область (IV) взрывчатых концентраций в системе «метан - угольная пыль - воздух», которая характеризуется тем, что в этой области концентраций метана и угольной пыли концентрация метана удовлетворяет требованиям пылегазового режима ($C_{\text{CH}_4} \leq 1\%$), а концентрация пыли в ней может быть даже ниже ее нижнего концентрационного предела взрываемости в воздухе. Этот факт говорит о том, что в атмосфере выработок технологических участков угольных шахт может образовываться взрывоопасная пылегазовая среда в виде аэрозоля, которая, тем не менее, имеет приемлемые по принятым требованиям пылегазового режима параметры безопасности как для газовой защиты, так и по взрывчатости витающей угольной пыли.

В вопросе взрывобезопасности угольных шахт такое положение дел неприемлемо. Однако оно сложилось потому, что считается весьма большим различие между концентрацией в выработке витающей пыли в воздухе и ее концентрацией, характеризующей нижний предел взрывчатости (в несколько порядков). В связи с этим степень опасности взрыва в горной выработке рассматривают как сопоставление допустимого количества отложившейся угольной пыли, отнесенное к единице объема выработки при которой невозможно распространение взрыва по запыленному участку с фактической величиной пылеотложения за анализируемый период. В соответствии с действующими правилами безопасности в угольных шахтах пылевзрывозащита угольных шахт включает в себя следующий комплекс мероприятий:

- определение взрывчатости угольной пыли и нормы осланцевания;
- определение интенсивности пылеотложения в горных выработках;
- выбор и осуществление взрывозащитных мероприятий по снижению пылеобразования и пылеотложения в выработке;
- выполнение мероприятий по предупреждению и локализации взрывов и контроль за пылевзрывобезопасностью в горных выработках.

Вместе с тем все перечисленные выше мероприятия не могут учитывать взрывоопасность витающей в воздухе угольной пыли при наличии в нем метана или образующихся при работе горновыемочных комбайнов аэрозолей из смеси метана - угольной пыли и воздуха, и соответственно быть направлены для их ликвидации и предотвращения взрыва. Фактическая опасность взрыва в горной выработке при образовании в ней аэрозолей «метан - угольная пыль - воздух» весьма большая и это можно показать на примерах.

Рассмотрим возможность образования аэрозолей «метан - угольная пыль - воздух» в очистных забоях горных выработок при работе очистных комбайнов механизированных комплексов. При нагрузках на лаву более 1000...1500 т/сут. интенсивность отбойки угля очистным комбайном составляет 2,5 т/мин. Принимаем во внимание, что при разрушении угольного пласта рабочим органом комбайна примерно 0,5% от общей массы разрушенного угля превращается в пыль. Следовательно, получается, что удельное пылевыделение мелких фракций пыли (C_y) в зоне рабочего органа может составлять примерно 12,5 кг/т. мин. На выбросоопасных пластах, склонных к выбросам угля и газа, запыленность воздуха в забоях лав и в подготовительных выработках может быть еще более высокой за счет микро выбросов угля и газа.

Эти значения пылевыведения при работе комбайна в очистном забое можно перевести в концентрацию пыли, образующуюся в зоне работы комбайна. Для угольного пласта мощностью 1,5 м, поперечное сечение лавы составляет около 4 м², а скорость воздуха, обтекающего работающий комбайн согласно правил безопасности не может быть более 4 м/с. Тогда в зоне работы комбайна каждую секунду образуется концентрация угольной пыли равная:

$$C_n = \frac{C_y}{60 \cdot 4 \cdot 4} = \frac{C_y}{960} = 13,0, \text{ г/м}^3.$$

Таким образом, расчет дает концентрацию угольной пыли в зоне работы комбайна менее ее нижнего концентрационного предела взрываемости – $C_{н.к.п}$ в воздухе. При разрушении угля рабочим органом комбайна наряду с образованием мелкой пыли идет генерация метана из разрушаемых макромолекул угольного вещества. Выделение метана из разрушенного угля составляет примерно 3...4 м³/т, а его ежесекундное среднее выделение составит $3,5 \cdot 2,5/60 = 0,146$ м³/с. Одновременно в лаву подается воздух, который поступает к рабочему органу комбайна в количестве не менее $4 \cdot 4 = 16$ м³/с. Следовательно, концентрация метана при разрушении угольного пласта в зоне работы комбайна составит:

$$C_{CH_4} = \frac{0,146}{16} = 0,92 \text{ \%}.$$

В зоне разрушения угля комбайном получается концентрация метана допустимая правилами безопасности, то есть менее 1,0 %. При наличии в воздухе угольной пыли с концентрацией 13 г/м³ и метана с концентрацией 0,92%, образуется метано-пылевоздушный аэрозоль, который имеет параметры концентраций для каждого в отдельности компонента смеси, относящиеся к невзрывчатым. Однако в газопылевом аэрозоле при их совместном действии получается противоположный результат, так если нанести эти концентрации на график, представленный на рис. 1, то можно увидеть, что они попадают в область IV, которая является взрывоопасной и при наличии источника воспламенения данный метаноугольный аэрозоль может взрываться.

Таким образом, экспериментально установлена ранее неизвестная эволюция, казалось бы, невзрывчатой аэрозольной системы «метан - угольная пыль - воздух» во взрывоопасную. Гипотетически это происходит за счет нарушения линейного аддитивного взаимодействия горючих компонентов с кислородом воздуха в аэрозольной системе и перехода к нелинейным взаимодействиям, связанным с бифуркационными механизмами развития сложных цепных реакций окисления газовых молекул и радикалов угольных молекул на поверхности твердых частиц угольной пыли. Это неизвестное ранее явление, открытие которого позволяет объяснить возможность катастрофических взрывов газа и пыли в угольных шахтах при наличии в выработках автоматической газовой защиты и выполнении требований пылегазового режима. Поэтому для предотвращения взрывов необходимо сформулировать новую систему научных взглядов (парадигму) на пылегазовый режим в угольных шахтах и обеспечение взрывозащиты в горных выработках, которые учитывают взрывоопасность пылегазовых аэрозолей.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования, которые позволили установить взрывчатость метано-пылеугольного аэрозоля в зависимости от его состава и концентрационных пределов взрываемости метана и угольной пыли. Установлено ранее неизвестное явление снижения

нижних концентрационных пределов взрываемости метана и угольной пыли в их аэрозолях, образующихся в горных выработках при работе очистных и проходческих комбайнов. Этим можно объяснить взрывы, которые произошли в угольных шахтах при наличии системы газовой защиты и выполнении требований пылегазового режима. Для успешной борьбы со взрывами метано - пылевоздушных аэрозолей необходимо уточнить требования пылегазового режима для угольных шахт и дополнить их следующими рекомендациями:

1. При работе очистных и проходческих комбайнов необходимо осуществлять комплексный мониторинг газового состава атмосферы на наличие в ней метана, других горючих газов, кислорода и витающей угольной пыли непосредственно у рабочего органа комбайна.

2. Разработать технические средства, которые позволяют оперативно оценивать интегральную взрывоопасную концентрацию пылегазовых аэрозолей с учетом всех горючих компонентов, образующих аэрозоль.

3. Горная техника для угольных шахт, должна быть оснащена непрерывно действующими генераторами, создающими при их работе в призабойных пространствах локальные объемы инертной газовой среды, способной ингибировать окислительные реакции во взрывоопасных пылегазовых аэрозолях. Их работа должна быть неотделима от технологического цикла и увязана с техническими средствами автоматики контроля и мониторинга шахтной атмосферы в зонах работы очистных и проходческих комбайнов.

Бibliографический список

1. Мамаев В.И. Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей/ [В.И.Мамаев, Ж.А. Ибраев, Д.М. Шередекин, И.С.Яценко и др.]. – М.: Недра, 1990. – 159 с.

2. 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.

3. Каледина Н.О. О мерах радикального повышения взрывобезопасности при современной технологии подземной добычи угля/ Н.О. Каледина, Б.Н. Кутузов, В.В. Мельник, С.А. Горинев// Горный журнал. – 2010. – №7. – С. 88-92.

4. Медведев В.Н. Повышение достоверности информации при многокомпонентном контроле шахтной атмосферы/ В.Н. Медведев, Е.В. Беляева, А.Л. Складов, С.Ф. Типоченков//Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 2009. – С. 81-89.

5. Петрухин М.П. Борьба с угольной пылью в шахтах/ М.П. Петрухин, Г.С. Гродель, Н.И. Шеляев. – М.: Недра, 1981. – 271 с.

Надійшла до редколегії __.__.2013

Калякін С.О.

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІСТЬ МЕТАНОВУГІЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ У ГІРСЬКИХ ВИРОБКАХ ТА ПИЛОГАЗОВИЙ РЕЖИМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Виконана оцінка вибухонебезпечності метановугільних аерозолів, що утворюються у при вибійних ділянках виробок при роботі виймальних та прохідницьких комбайнів. Експериментально встановлений синергетичний ефект суттєвого зниження нижнього концентраційного ліміту вибуховості аерозолу «вугільний пил – метан - повітря», відносно їх нижніх концентраційних лімітів вибуховості окремо. Сформульовані пропозиції у пилогазовий режим для забезпечення вибухозахисту вугільних шахт, запропоновані рекомендації по забезпеченню вибухобезпеки технологічних процесів гірничого виробництва. Ключові слова: вибух, вугільний пил, метан, метано-пилоповітряний аерозоль, концентраційні ліміти вибуховості, вибухобезпечність, вибухозахист

Kalyakin S.O.

Donetsk national technical university, Donetsk

FLAMMABLE HAZARDS OF COAL AND AIR-DUST MIXTURES IN MINE EXCAVATIONS AND DUST-GASE REGIME OF COAL MINES

The analysis of explosion hazards of methane-air mixtures, which is formed in bottomhole areas during of working of longwall and tunneling combines is performed in this article. Experimentally established synergetic effect significant decreasing of low concentration limit of explosiveness of mixture “coal dust – methane - air” according to their concentration limits of explosiveness separately. The recommendations on dust-gases regime for the providing of explosion safety of technological processes of mine developing are proposed.

Keywords: explosion, coal dust, methane, methane-air mixture, concentration limits of explosiveness, explosion safety, explosion protection