

Свойства и параметры, определяющие взрывчатость угольной пыли

Данилов Александр Геннадьевич

Инженер-эксперт ООО "ГорМаш-ЮЛ", эксперт Единой системы оценки соответствия в угольной промышленности.

Соавторы: Грачев Эдуард Александрович – эксперт Единой системы оценки соответствия в угольной промышленности;

Кульчицкий Станислав Владимирович – эксперт Единой системы оценки соответствия в угольной промышленности;

Галиев Марат Гаптуллович – эксперт Единой системы оценки соответствия в угольной промышленности.

Взрываемость угольной пыли определяется физико-химическими свойствами разрабатываемого шахтопласта и горнотехническими условиями, при которых возможно протекание взрыва.

К физико-химическим свойствам относятся: стадия метаморфизма угля, количественно выражаемая выходом летучих веществ, содержание золы и влаги в угле, дисперсность витающей и отложившейся угольной пыли. К горнотехническим условиям относятся: концентрация взвешенной и отложившейся угольной пыли в горной выработке, источник воспламенения, содержание метана в атмосфере.

Степень влияния перечисленных факторов на взрываемость угольной пыли различна.

Влияние летучих веществ.

Общепризнано, по данным исследований научно-исследовательских институтов МакНИИ, ВостНИИ и др. что с ростом летучих веществ (V_{cdaf}) взрываемость угольной пыли возрастает, и существует предельное значение выхода летучих, при котором пыль перестает взрываться. При $V_{cdaf} \leq 6\%$ - уголь неопасен по взрывам пыли, при увеличении выхода летучих частота появления невзрывчатых проб снижается, а при $V_{cdaf} \geq 15\%$ угольный пласт соответственно является опасным по взрывам пыли. Для углей с $V_{cdaf} > 30\%$ нижний предел взрываемости угольной пыли растёт незначительно и практически остается постоянным. В качестве показателя взрываемости угольной пыли в отдельных странах приняты различные значения выхода летучих веществ. Например, в Великобритании предельный выход летучих веществ, определяющий взрываемость угольной пыли, составляет 20%. В Польше, Чехии и Бельгии опасными по взрыву пыли считаются пласты угля с выходом летучих более 12-14%. Во Франции взрываемость угольной пыли для каждого шахтопласта определяется лабораторными испытаниями независимо от выхода летучих веществ. В Российской Федерации согласно действующим ФНиП в области промышленной безопасности «Правил безопасности в угольных шахтах» к опасным по взрыву пыли относятся пласты угля с выходом летучих веществ 15 % и более, а также пласты угля (кроме антрацитов) с меньшим выходом летучих, взрывчатость пыли которых установлена лабораторными исследованиями и испытаниями угольной пыли на взрывчатость. Это обосновано систематическим анализом данных испытаний угольной пыли на взрываемость, результаты которого показаны на рис.1. Из графика видно, что при $V_{cdaf} \leq 6\%$, все испытанные пробы угольной пыли невзрывчаты. При увеличении выхода летучих веществ частота появления невзрывчатых проб снижается, а при $V_{cdaf} = 15\%$ и более, все испытанные пробы угольной пыли оказались взрывчатыми.

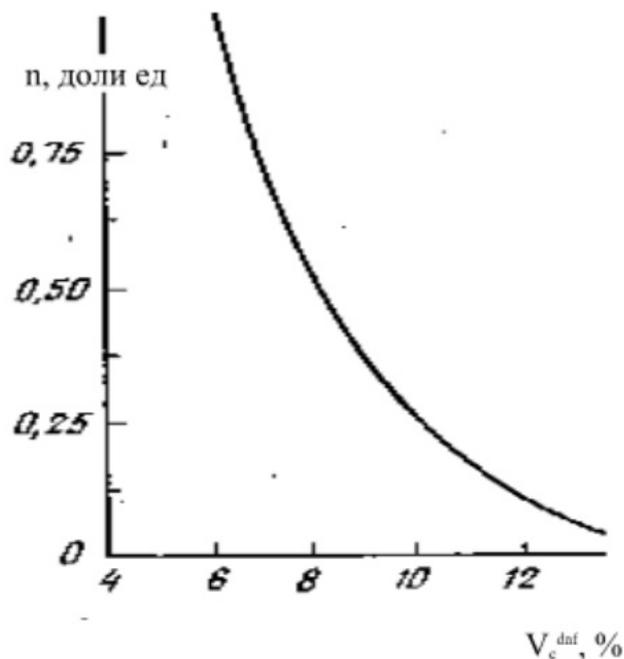


Рис.1. Зависимость частоты n появления невзрывчатой угольной пыли от выхода летучих веществ V_{c}^{daf} .

На основании ранее проведенных исследований, как у нас, так и за рубежом, можно сделать вывод о том, что угольная пыль шахтопластов с выходом летучих веществ 6 % и менее по принятым методикам испытаний является невзрывчатой. Однако выход летучих веществ не всегда является однозначным показателем взрываемости угольной пыли. Причина - различие химического состава летучих веществ. Исследования химического состава продуктов термического разложения угля показали, что основными компонентами летучих веществ, обуславливающими взрываемость угольной пыли, являются смолистые вещества и непредельные углеводороды на том основании, что смолы начинают выделяться при более низких температурах, а непредельные углеводороды имеют низкий концентрационный предел взрываемости. Влияние остальных компонентов летучих веществ имеет второстепенное значение. Однако какая-либо количественная зависимость взрываемости пыли от выхода этих компонентов не установлена и не дано объяснение факту взрываемости угольной пыли с выходом летучих веществ менее 10 %, которые практически не содержат смолистых веществ.

Исходя из представлений о структуре угольного вещества, при термическом воздействии на пылеугольные частицы в первую очередь открываются наиболее удаленные от центрального ядра цепи боковых групп молекул. При этом из продуктов термического пиролиза, синтеза и остатков боковых групп образуются газообразные, жидкие и твердые вещества. Газообразные продукты представляют собой смесь газов, состоящую из CO_2 ; CO ; H_2 ; CH_4 ; C_2H_6 , и др. Учитывая то, что процесс взрыва угольной пыли протекает быстро, за время подготовки к нему частицы пылевого облака прогреваются до температуры значительно меньшей, чем температура источника воспламенения (фронта пламени). Пиролиз пыли происходит в низкотемпературном режиме, а газообразные продукты характеризуются высоким содержанием метана, его гомологов и непредельных углеводородов. Последнее дает возможность считать, что основной компонент газообразных продуктов пиролиза, определяющий взрываемость угольной пыли, - метан (CH_4). Это подтверждается и тем, что с увеличением выхода летучих веществ содержание CH_4 в продуктах пиролиза растет (рис. 2.).

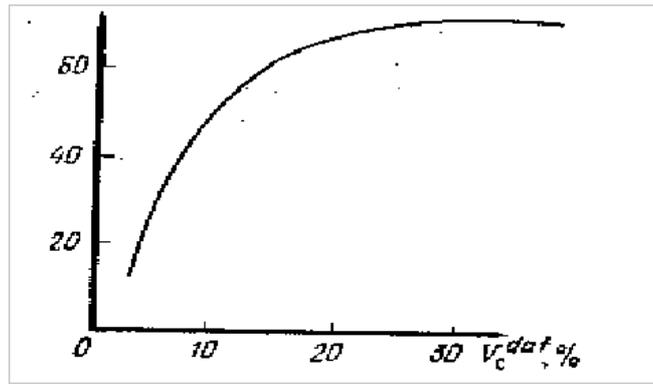


Рис.2. Зависимость содержания метана в газообразных выработках продуктах пиролиза углей V от выхода летучих веществ V_c^{daf} .

Для углей с выходом летучих веществ до 30% прослеживается строгая закономерность между содержанием метана в продуктах пиролиза и степенью взрываемости пыли, что используется для соответствующей классификации угольных пластов.

Наличие в атмосфере горючих газов. Так при наличии в выработке метана, нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли снижается и определяется по следующей эмпирической формуле: $b_{мпв} = b_{отл} \exp(-0,69 C_{CH_4})$, (например, при $CH_4=0\%$, нижний предел взрываемости пыли 40 г/м³; при $CH_4=0,5\%$ - 30 г/м³; при $CH_4=2\%$ - 10 г/м³).

Влияние негорючих веществ и влаги.

Минеральные негорючие вещества являются составляющими углей и по своему происхождению могут быть разделены на две группы, одна из которых представляет золу внутреннюю, или конституционную, и вторая - внешнюю. Конституционная зола характеризуется тем, что негорючие вещества химически связаны с угольным веществом, равномерно распределены в угле, а следовательно, и в пыли. Ее содержание невелико и обычно не превышает 2%. Содержание внешней золы в основном определяется технологией добычи угля. Зола как инертная добавка снижает взрываемость угольной пыли из-за экранирующего действия и затрат тепла на ее нагрев, тем самым, уменьшая тепловой баланс системы. Кроме того, негорючие твердые вещества в смеси с угольной пылью, находясь в состоянии аэрозоля, разжижают концентрацию взрывчатых частиц и на стадии термического пиролиза способствуют обрыву реакционных цепей. Указанные свойства негорючих веществ обусловили применение инертной пыли для предупреждения и локализации взрывов угольной пыли.

На взрываемость угольной пыли оказывает влияние и вещественный состав негорючих компонентов. Например, если они представлены карбонатами, то при нагревании до 1073K и более из них выделяется значительное количество (12-15% об.) углекислого газа, примесь которого в продуктах пиролиза повышает концентрационный предел взрываемости горючих газов.

Влияние содержания негорючих веществ на взрываемость пыли пластов различной стадии метаморфизма сказывается неодинаково. Для угольной пыли с выходом летучих веществ менее 15 % влияние содержания негорючих компонентов сказывается значительно, чем это имеет место при большем выходе летучих веществ. Исследованиями МакНИИ установлено, что взрываемость угольной пыли с выходом летучих веществ менее 15 % существенно снижается при содержании золы 20-30%. В ряде случаев такого содержания золы бывает достаточно, чтобы полностью нейтрализовать взрываемость пыли. С увеличением выхода летучих веществ более 15% степень влияния естественной зольности уменьшается. При выходе летучих веществ более 30% естественная зольность не оказывает влияния на взрываемость угольной пыли.

Присутствующая в угле влага проявляет себя двояко. С одной стороны, она действует как инертная добавка, с другой - как фактор, способствующий аутогезии мелких частиц, ведущей к уменьшению удельной поверхности пыли и, следовательно, к снижению ее взрываемости. В силу большой удельной теплоемкости и теплоты испарения она при равной массе поглощает в 4,5-5 раз больше тепла, чем инертная пыль. Содержание естественной влаги в угле незначительно и не оказывает заметного влияния на взрываемость угольной пыли. Но если отложившаяся пыль увлажнена до 12% и более, то она не способна переходить во взвешенное состояние; и создавать взрывоопасные концентрации. При влажности 20-25%, пыль, как правило, не взрывается.

Влияние дисперсного состава пыли.

Многочисленными исследованиями установлено, что степень дисперсности является существенным фактором, определяющим взрываемость угольной пыли. Во взрыве пыли принимают участие частицы разных размеров меньше 1000 мкм, причем взрываемость угольной пыли с увеличением дисперсности растет.

Влияние дисперсного состава угольной пыли на ее взрываемость, подробно изучалось в МакНИИ. Исследования проводились в лабораторных приборах с пылями шахтопластов различной стадии метаморфизма следующих фракций: 600-300; 300-150; 150-75; 75-50; 50-30; 30-10 и менее 10 мкм, а для угля с высоким выходом летучих веществ ($V_{cdaf} = 40,5\%$) менее 5 мкм.

На рис. 3 показана зависимость давления (P), развиваемого при взрыве угольной пыли от среднего размера ее частиц (d).

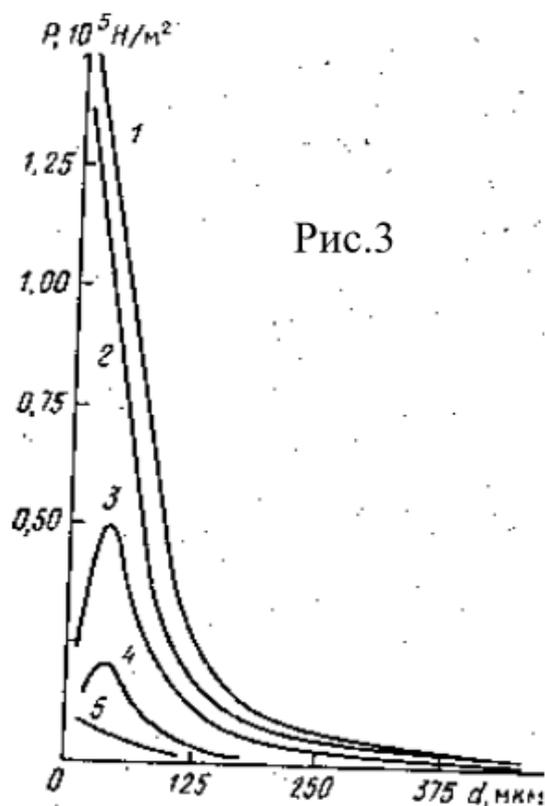


Рис.3

В качестве показателя взрываемости принято удельное давление, развиваемое при взрыве пыли в замкнутом объеме. В двух случаях наблюдалось снижение показателя взрываемости для фракции менее 10 мкм. Причина снижения этого показателя для высокодисперсной пыли -

аутогезия, происходящая тем эффективнее, чем мельче пыль. Это было доказано с помощью небольшой добавки пыли крупной фракции, резко снижающей аутогезию, но практически не изменяющей суммарную удельную поверхность. В результате такой добавки достигалось значительное повышение взрываемости пыли фракции менее 10 мкм.

Заслуживают внимания исследования, выполненные в Польше. В экспериментальной шахте им изучалась взрываемость пылей одного и того же пласта с содержанием в одной 85 % частиц размером менее 75 мкм и в другой 96,3 % частиц размером менее 15 мкм. Для первой пыли на нейтрализацию ее взрываемости потребовалась добавка инертной пыли, равная 4 кг на 1 кг угольной, для второй - 6,7 кг. По результатам данной работы и других исследований было установлено, что во взрыве принимают участие частицы размером менее 1000 мкм, наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает тонкодисперсная угольная пыль с размерами частиц 60-100 мкм, т.е. пыль, проходящая через сито №80, наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает угольная пыль с размером частиц 45 мкм.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что взрываемость угольной пыли растет с увеличением дисперсности, поэтому угольная пыль в горных выработках шахты по мере удаления от источника пылеобразования потенциально более взрывоопасна.

Количество взвешенной пыли. Взвешенная в воздухе пыль называется пылевым аэрозолем. При очень большой степени запыленности расстояние между отдельными пылинками очень мало, и пыль невзрывоопасна. Увеличивая расстояние между пылинками, мы достигаем такого момента, когда воспламенение и взрыв еще возможны, это называется верхним пределом взрываемости. Дальнейшее увеличение расстояния между частицами до тех пор, пока взрыв становится невозможным, приводит к так называемому нижнему пределу взрываемости. Наиболее разрушительным действием обладает взрыв пылевоздушной смеси, содержащей 300 г пыли в 1 м³ воздуха. Для самой опасной угольной пыли нижний концентрационный предел взрываемости равен 10 г/м³.

Химический и минеральный состав пыли. Пыль, при содержании в ней негорючих компонентов от 60-70% не взрывчата.

Список использованной литературы:

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах, утв. приказом Ростехнадзора от 19.11.2013г №550.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах», утв. приказом Ростехнадзора от 14.10.2014 №462.
3. ГОСТ Р 54776-2011 Оборудование и средства по предупреждению и локализации взрывов пылевоздушных смесей в угольных шахтах, опасных по газу и пыли.