

УДК. 622. 867:658.5

Т.В. КОСТЕНКО

Донецкий национальный технический университет

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ГОРЮЧЕСТИ СМЕСЕЙ МЕТАНА И ВОЗДУХА ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНЫХ РАБОТ

Обоснован показатель оценки взрывобезопасности смеси воздуха и метана при тушении подземных пожаров способом изоляции.

оценка взрывобезопасности, метан, подземный пожар

В настоящее время экзогенные и эндогенные подземные пожары составляют примерно 80% всех происходящих на угольных шахтах Украины аварий. Наносимый ими годовой экономический, экологический и социальный ущерб исчисляется миллионами гривен, килотоннами парниковых и токсичных выбросов, многочисленными травмами и т.п. Ведение аварийно-спасательных работ в угольных шахтах, как правило, сопряжено с нарушением нормального режима проветривания горных выработок, при этом состав газов в выработках меняется из-за добавления к воздуху рудничных газов.

К числу присутствующих в воздухе горных выработок угольных шахт газов в первую очередь следует отнести наиболее распространенный простейший углеводород – метан (CH_4). В весьма ограниченных количествах, на уровне сотых долей процента присутствуют его газообразные гомологи этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8) и бутан (C_4H_{10}). В некоторых шахтах обнаружены выделяющиеся в незначительных объемах непредельные углеводороды, такие как этилен (C_2H_4) и ацетилен (C_2H_2), их содержание оценивают в единицах на миллион частей воздуха. Более сложные органические соединения могут присутствовать в виде газов или паров, однако их концентрация крайне незначительна. Ввиду высокой сернистости месторождений иногда в воздухе присутствует сероводород (H_2S). Отдельные шахтопласты содержат свободный водород (H_2), а также при зарядке аккумуляторных батарей выделяется техногенный. Нагрев угля и пород при пожаре стимулирует выделение значительных, до нескольких процентов, объемов водорода и оксида углерода (CO), последний может быть также продуктом неполного окисления угля в очаге горения при недостатке кислорода. Несмотря на широкий спектр рудничных газов, превалирует в их составе метан, составляющий, как правило, более 99% в составе газовых добавок к воздуху.

В определенных соотношениях метановоздушная газовая смесь приобретает способность гореть при воздействии на нее внешнего теплового источника, имеющего температуру более 450...6000С. Проведенные в течение многолетнего периода фундаментальные исследования таких ученых как А.Л. ЛеШателье, Н.Н. Черницын, Н.Н. Семенов, С.Н. Осипов, Ю.В. Кудинов, Н.Р. Шевцов, А.М. Брюханов и многих других позволили составить следующие общие представления о процессе горения газовых сред.

В том случае, когда соотношение окислителя, а это кислород, содержащийся в воздухе в количестве 19...21%, и метана находятся в стехиометрической или близкой к ней пропорции, скорость реакции горения максимальна, она превышает скорость звука в воздухе, и проходит во взрывном режиме. Наибольшая сила взрыва регистрируется при содержании около 8...10% метана в смеси с воздухом. Нижний предел горючести смеси составляет около 4...5%, это минимальное содержание метана, при котором возможно его горение. При меньшей концентрации горючего газа энергия, образующаяся в процессе окисления его молекул расходуется на нагрев избытка кислорода и азота, и недостаточна для поддержания самоподдерживающейся цепной реакции. Подобным образом можно объяснить верхний предел горючего содержания метана, составляющий

около 15%, когда недостаток окислителя не дает возможности накопить достаточную теплоту для автоподдержания цепной реакции.

Эти исследования легли в основу нормативных документов, уставов и руководств по ведению аварийно-спасательных работ во взрывоопасных газовых средах, в том числе при ликвидации подземных пожаров в угольных шахтах. Однако, при тушении сложных подземных пожаров на угольных шахтах ежегодно происходит не менее четырех взрывов метановоздушных смесей, иногда приводящих к травмированию горноспасателей. Угроза поражения ударной волной, высокотемпературными и токсичными продуктами взрыва определяет высокий уровень рисков ведения аварийных работ.

Наиболее частой причиной возникновения взрывов при изоляции аварийных участков сети горных выработок шахты является отсутствие достоверных сведений о содержании горючих газов вблизи очага горения и возможности оперативно в полевых условиях оценить угрозу их воспламенения. В связи с этим весьма актуальным, по нашему мнению, является решение задачи получения достоверной информации о составе воздуха в изолируемых выработках и проведения экспресс-оценки горючести метановоздушной смеси.

Рассмотрена одна из наиболее распространенных аварийных ситуаций, когда из-за невозможности потушить пожар в выработанном пространстве позади очистной выработки активным способом, принято решение перейти к его изоляции (рис.1).

Перед возведением взрывоустойчивой изолирующей перемычки был проложен пневмокабель «Дистоп» для отбора проб из района очага горения. Откачку газов по кабелю осуществляли с помощью эжекторной установки. Гипсовую взрывоустойчивую перемычку отливали с помощью агрегата «Монолит». В теле перемычки смонтирована проемная труба с крышками (лядами), а также проложен металлический трубопровод для подачи в изолируемый объем газообразного флегматизатора – азота.

При открытых лядах в проемной трубе к очагу горения движется воздух за счет общешахтной депрессии. Кроме того, из угольного пласта и выработанного пространства поступает метан. Если расход воздуха достаточен для разбавления метана ниже безопасного нижнего предела горючести, то угроза взрыва отсутствует. Однако, при закрытии крышек проемной трубы количество поступающего воздуха сокращается, а расход метана остается неизменным. Смешиваясь, эти газы могут образовать взрывоопасную среду, а при достаточно большом объеме накопившейся смеси последствия взрыва могут быть катастрофическими.

Для недопущения взрыва в изолируемом участке нормативными документами рекомендуется заполнять его парогазовой смесью перед закрыванием ляд. В этом случае достигается резкое снижение уровня кислорода за перемычкой и предотвращается риски взрыва. Но, воздействие пара на массивы средней и ранней степени метаморфизма, а при длительном периоде обработки и поздней, приводит к размоканию пород и обрушению их в выработку. Кроме того, весьма высокой является стоимость авиационного керосина - топлива для генераторов инертных газов (ГИГ).

В настоящее время для тушения сложных подземных пожаров в труднодоступных местах наиболее эффективными являются газовые средства тушения. Особенно перспективными представляются мембранные газоразделительные устройства, позволяющие получать азот из воздуха, пропуская последний через молекулярные сита. На оснащении ГВГСС Минуглепрома Украины в настоящее время находится несколько мобильных установок позволяющих приготавливать до 15 м³/мин под давлением около 0,8 МПа с содержанием азота до 95%.

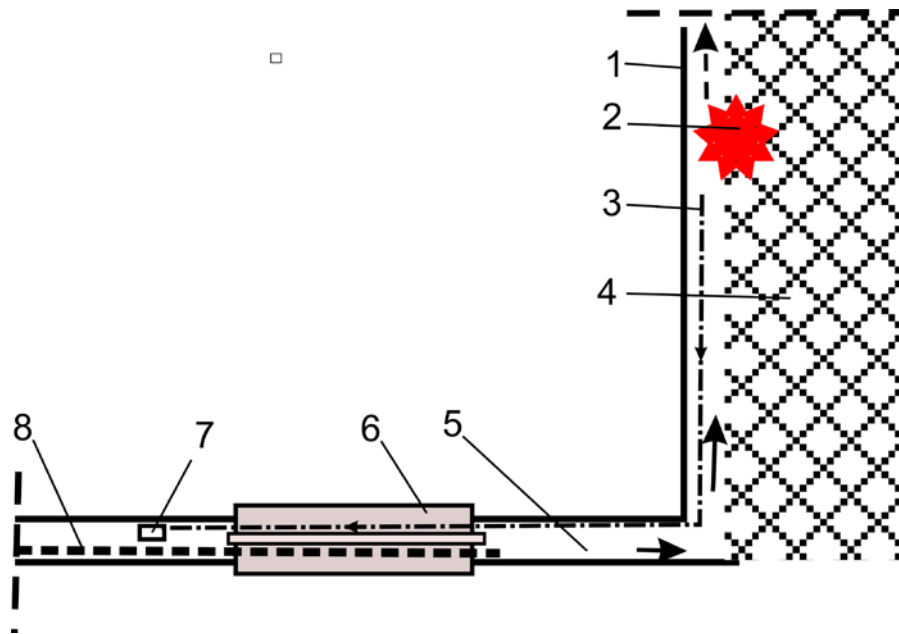


Рис.1. Схема отбора проб газов в районе очага горения: 1 - очистная выработка; 2 – очаг горения; 3 – пневмокабель; 4 - выработанное пространство; 5 - подготавливающая горная выработка; 6- взрывоустойчивая переключательная установка с проемной трубой; 7 – эжекторная установка; 8 – трубопровод для подачи газообразного флегматизатора

Подача обогащенной азотом газовой смеси к очагу горения позволяет снизить объем и скорость окисления твердых и газообразных горючих веществ до полного его прекращения. Поток инертнизированного воздуха охлаждает потушенные поверхности, препятствуя рецидивам пожаров после восстановления нормального проветривания. Важной характеристикой газов является способность проникать в труднодоступные места, куда невозможно доставить порошковые, пенные и водные средства пожаротушения. Флегматизация газовой среды позволяет также обеспечивать взрывозащиту горноспасателей. Однако действующими нормативными документами не регламентирован порядок контроля атмосферы в изолируемых участках сети горных выработок. В частности, не определены способы экспресс-оценки взрывоопасности газовой среды в районе очага горения.

Автор предлагает производить оценку взрывоопасности газовой среды на основании показателя интенсивности флегматизации, который следует определять по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{C_{\Gamma}}{C_{\phi}} \quad (1)$$

где C_{Γ} и C_{ϕ} – соответственно концентрации горючих и флегматизирующих газов в изолируемом объеме.

Физический смысл показателя интенсивности флегматизации газовой смеси (K_{ϕ}) заключается в том, что он отображает отношение потенциально возможной теплоты, выделяющейся при окислении горючего, к количеству флегматизатора, поглощающего эту теплоту. Нами выдвинута гипотеза, что при достижении достаточно высокого показателя K_{ϕ} становится невозможной самоподдерживающаяся реакция окисления, так как образующаяся при горении теплота рассеивается во флегматизаторе и недостаточна для инициирования окисления соседних молекул горючего газа.

В качестве базового показателя предложено использовать $K_{\phi 6}$, определенный для смеси воздуха и метана, где инертной средой выступает азот воздуха. Такая смесь

является потенциально наиболее опасной из-за наличия большого количества окислителя – кислорода, смеси воздуха с флегматизирующими газами менее опасны. Метан и воздух - это наиболее вероятное сочетание газов в районе очага горения, так как присутствие водорода и оксида углерода на свежей струе исключено, а их наличие в продуктах горения, отходящих от очага, нейтрализуется продуктами окисления угля, метана или древесины.

Оценку величины $K_{фб}$ производили в лабораторных условиях. При планировании лабораторного эксперимента руководствовались следующими соображениями. Смесь газов включает три компонента: горючее, флегматизатор, окислитель, при этом их суммарное содержание составляет 100%. В метановоздушной смеси не может быть кислорода более 21%, азота более 79%. Не рассматривали составы, в которых содержание метана менее 4,5%, как априори негорючие. Формально эти рассуждения выражены системой уравнения и неравенств (2).

$$\begin{cases} Cф + Cо + Cз = 100, \% \\ Cо \leq 21, \% \\ Cф \leq 79, \% \\ Cз \geq 4,5, \% \end{cases} \quad (2)$$

В соответствии с ограничениями и допущениями согласно системе (2) были приготовлены и испытаны на горючесть семь составов газовой смесей (табл.1). Методика испытаний предусматривала перемешивание воздуха с технически чистым метаном в необходимых пропорциях, заполнение смесью эластичной взрывной камеры объемом около четырех литров, инициирование воспламенения смеси расположенным внутри камеры высокотемпературным источником. Результаты испытаний оценивали визуально. При воспламенении смеси стенки камеры плавилась, герметичность ее нарушалась, это сопровождалось хлопками или звуковыми ударами. В том случае, когда горение смеси отсутствовало, какие-либо повреждения и деформации камеры отсутствовали.

Результаты испытаний показали, что при показателе интенсивности флегматизации $K_{ф} > 0,22$ метановоздушная смесь становится негорючей и риск ее взрыва исключен.

Таблица 1.

Исследование горючести газовых составов с различной интенсивностью флегматизации

Содержание (об.,%) газов в смеси:			Интенсивность флегматизации смеси, $K_{ф}$	Наличие горения (+,-)
кислорода	метана	азота		
13	16	71	0,23	-
15	15	67	0,22	-
16	24	60	0,4	-
16	8	76	0,1	+
16	12	72	0,17	+
18	8	74	0,11	+
17	10	73	0,14	+

Для уточнения безопасной величины показателя флегматизации, на основании данных лабораторного эксперимента была построена графическая зависимость показателя (Кф) и содержания метана (Сг) в составе смеси (рис.2).

На графике отложили верхний предел горючести смеси метана и воздуха $C_g \approx 14\%$, пересечение этой отметки с линией тренда дало безопасный показатель интенсивности флегматизации $K_{fb} \approx 0,22$.

Таким образом, можно утверждать, что в первом приближении получено численное значение безопасной величины показателя флегматизации при котором смесь воздуха и метана является взрывобезопасной. Подачу газообразного азота в изолируемый аварийных участок следует осуществлять в таком режиме, чтобы обеспечивать поддержание Кф не ниже установленной величины 0,22.

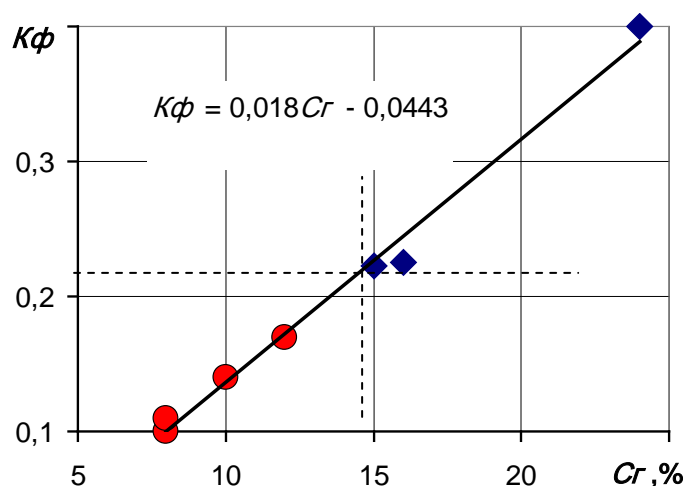


Рис.2. Влияние интенсивности флегматизации (Кф) на горючесть смеси воздуха и метана (Сг,%): Кфб – граничный уровень интенсивности флегматизации, выше которого смесь не горюча; окружности – горючие, ромбы – негорючие составы

Использование полученных результатов дает возможность оперативно на основании проводимого в подземных условиях анализа состава газов в изолируемом пространстве определить исходные данные для выполнения инерттизации и тушения пожаров способом изоляции. Следует отметить, что для более сложных газовых смесей, содержащих различные горючие ингредиенты, этот показатель следует уточнить.

Надійшла до редколегії 12.10.2010

Т.В. Костенко

Обґрунтовано показник щодо оцінки вибухонебезпечності суміші повітря та метану при гасінні підземних пожеж способом ізоляції.

оцінка вибухонебезпечності, метан, підземна пожежа

T.V. Kostenko

The indices for the evaluation of explosions of methane and air mixtures during extinguishing underground fires by means of isolation are provided.

indices of explosion, methane, underground fires

© Костенко Т.В., 2010