

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 622.822.2

ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА В ШАХТАХ

Портола Вячеслав Алексеевич

докт. техн. наук, проф., E-mail: portola2@yandex.ru

Храмцов Виктор Иванович

канд. техн. наук, E-mail: hvi1949@mail.ru

Дружинин Андрей Александрович

канд. техн. наук. E-mail: drujininsnd@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация

Приведены результаты исследования выделения оксида углерода из веществ, применяемых в шахтах, а также из угольной пыли при низкотемпературном окислении. Установлено, что выделение оксида углерода из некоторых применяемых материалов и образующейся угольной пыли может снизить эффективность газоаналитического способа обнаружения эндогенных пожаров.

Ключевые слова: уголь, угольная пыль, оксид углерода, очаг самовозгорания, выработанное пространство, индикаторные газы, шахта.

Формирование состава рудничной атмосферы угольных шахт зависит от используемого оборудования и технологических процессов, протекающих в шахте, количества подаваемого в горные выработки воздуха, содержания и скорости выделения газов из добываемого угля, угольных пластов, вмещающих пород и др. Часть выделяющихся в рудничную атмосферу газов могут представлять опасность для шахтеров. К опасным газам можно отнести токсичные и горючие летучие компоненты, способные вызвать отравления людей, пожары, взрывы, а также газы, выделение которых способно снизить концентрацию кислорода в рудничной атмосфере до опасных пределов. Содержание таких газов в рабочей зоне подземных предприятий регламентируется нормативными документами.

Так, специфические газы образуются при работе дизельных двигателей, проведении взрывных работ, зарядке аккумуляторов и пр. Однако наибольшее количество опасных газов в рудничную атмосферу выделяется из добываемого угля. В зависимости от причины появления эти газы можно разделить на три группы. В первую группу входят газы, ранее образовавшиеся в процессе метаморфизма угля, и выделяющиеся в действующие горные выработки при ведении очистных и проходческих работ. Большую часть этих газов составляет метан [1-3]. Вторую группу составляют газы, образующиеся при разрушении угля. В третьей группе находятся газы, возникающие в процессе окисления угля кислородом воздуха.

Исследования показывают, что качественный состав всех этих групп газов практически не отли-

чается и представлен метаном, водородом, углекислым газом, оксидом углерода, предельными и непредельными углеводородами. Отдельно можно выделить радиоактивный газ радон, образующийся при распаде радия, содержащегося в различной концентрации во всех пластах угля и вмещающих породах. В рудничной атмосфере шахт также могут присутствовать такие соединения серы, как сероводород, сернистый ангидрид.

Между тем некоторые выделяющиеся в шахте газы используются в качестве индикаторов опасных процессов, способных привести к аварийным ситуациям. Так, в угольных шахтах, отрабатывающих склонные к самовозгоранию пласти угля, периодически или непрерывно определяется содержание в рудничной атмосфере оксида углерода [4,5]. Повышение температуры угля в процессе окисления кислородом воздуха сопровождается интенсивным образованием оксида углерода. Поэтому увеличение его концентрации трактуется как развитие процесса самовозгорания угля, приводящего к возникновению эндогенных пожаров, способных нанести шахтам значительных экономический ущерб, угрожающих здоровью и жизни шахтеров. Замеры оксида углерода для обнаружения и локации очагов самовозгорания осуществляются в горных выработках и на земной поверхности [4-6]. Дополнительными индикаторными газами, свидетельствующими о повышении температуры угля, является радон [7,8]. Соотношения концентраций различных газов в рудничной атмосфере (оксида углерода, водорода, ацетилена и др.) используют для оценки стадии процесса самовозгорания [4,9].

В последние годы в шахтах находят все большее применение вещества и химические соединения, которые также могут выделять опасные газы, в том числе и те, что являются индикаторами процесса самовозгорания. В таких случаях обнаружение индикаторного газа может ошибочно трактоваться как аварийная ситуация и привести к длительной остановке работ по добыче угля, изоляции участка с дорогостоящей угледобывающей техникой, что способно вызвать большие экономические потери. Для предотвращения подобных ситуаций были проведены исследования выделения индикаторных пожарных газов из различных составов, применяемых в шахтах.

Одним из широко применяемых составов в шахтах являются пенообразователи. Поверхностно активные вещества (ПАВ) используют для получения пены, подаваемой в выработанное пространство для предотвращения, локализации и тушения очагов самовозгорания угля [10,11]. После обработки скоплений угля на поверхности кусков угля образуется жидккая пленка, которая препятствует проникновению кислорода к активным центрам, что приводит к снижению химической активности угля. Поданная в выработанное пространство пена образует завесу, препятствующую притоку воздуха к скоплениям разогревающегося угля.

Распространено в шахтах и использование смачивателей, снижающих поверхностное натяжение воды и предназначенных для борьбы с пылью. Вода с добавкой смачивателей нагнетается в массив угля для повышения влажности отбиваемого угля. Распыление водного раствора смачивателя на частицы отбиваемого угля существенно уменьшает выделение пыли в рудничную атмосферу.

В качестве пенообразователя исследовался концентрированный состав ПО-6 «Эльфор» и его водный 6 % раствор. Отобранные пробы ПАВ объемом 100 мл помещались в емкости, герметич-

но закрывались и выдерживались в течение 60 минут. Затем воздух, находящийся в емкостях и контактирующий с составами, отбирался и исследовался в газоанализаторах. Результаты исследования состава выделившихся газов приведены в табл.1.

Выделение газов из концентрированного состава смачивателя «Эльфор-М» и его водного раствора приведены в табл. 2.

Полученные данные свидетельствуют, что используемые в шахтах составы пенообразователь ПО-6 «Эльфор» и смачиватель для борьбы с угольной пылью «Эльфор-М» поглощают в незначительных количествах кислород и могут выделять оксид углерода. Однако концентрация оксида углерода в окружающем воздухе не превышает предельно допустимой концентрации. Водные растворы этих составов существенно в меньших количествах поглощают кислород и выделяют оксид углерода.

Аналогичные исследования выделения газообразных продуктов проводились с полиуретановой смолой «Шахтиклей», образуемой из двух исходных компонентов и используемой для крепления горных пород в горных выработках шахт. Для исследования химического состава газов, выделяющихся при работе со смолой, использовались отдельные компоненты и получаемая при их смешивании полиуретановая смола «Шахтиклей». Пробы отдельных компонентов и образуемая при их смешивании смола помещались в стеклянные сосуды емкостью 1 л и герметично закрывались. Объем каждого компонента и образуемой смеси равнялся 100 мл. После выдержки в течение двух часов из сосудов отбирались пробы воздуха, контактирующие с исходными компонентами и получаемой из них смолой «Шахтиклей», для определения состава газов на хроматографе. Результаты проведенных исследований состава газов представлены в табл. 3.

Полученные результаты показывают, что пер-

Таблица 1. Состав газов в воздухе, контактирующем с пенообразователем ПО-6 «Эльфор»

O ₂ , %	CO, %	H ₂ S, %	CH ₄ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₂ H ₄ , %	C ₂ H ₂ , %	C ₃ H ₈ , %	C ₃ H ₆ , %
Концентрированный пенообразователь ПО-6 «Эльфор»								
19,3	0,0006	0	0	0	0	0	0	0
6 % водный раствор пенообразователя ПО-6 «Эльфор»								
20,6	0,0002	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Состав газов в воздухе, контактирующем со смачивателем для угольной пыли «Эльфор-М»

O ₂ , %	CO, %	H ₂ S, %	CH ₄ , %	C ₂ H ₆ , %	C ₂ H ₄ , %	C ₂ H ₂ , %	C ₃ H ₈ , %	C ₃ H ₆ , %
Концентрированный смачиватель «Эльфор-М»								
20,6	0,0002	0	0	0	0	0	0	0
0,15 % водный раствор смачивателя «Эльфор-М»								
20,9	0,0000	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3. Состав газов, образующихся в воздухе при контакте с компонентами и образуемой из них полиуретановой смолой «Шахтиклей»

Состав газов	Содержание газов в воздухе после контакта с образцами, %		
	1 компонент (темная жидкость)	2 компонент (желтая жидкость)	Смесь компонентов (смолы «Шахтиклей»)
CO ₂	21,77	0,10	10,14
O ₂	16,45	20,83	18,78
CO	0,0004	0,0020	0,0031
H ₂	0,0000	0,0000	0,0000
CH ₄ (метан)	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₆ (этан)	0,00000	0,00001	0,00000
C ₂ H ₄ (этилен)	0,00000	0,00001	0,00001
C ₂ H ₂ (ацетилен)	0,00000	0,00000	0,00000
C ₃ H ₈ (пропан)	0,00000	0,00005	0,00000
C ₃ H ₆ (пропилен)	0,00000	0,00001	0,00001
И-C ₄ H ₁₀ (изобутан)	0,00000	0,00000	0,00000
Н-C ₄ H ₁₀ (н-бутан)	0,00000	0,00001	0,00002

вый компонент (темная жидкость) и образуемая смесь компонентов активно поглощают кислород из воздуха, образуя большое количество углекислого газа. Второй компонент и образуемая смесь (полиуретановая смола «Шахтиклей») интенсивно выделяют оксид углерода, являющийся индикатором процесса самовозгорания угля. Причем содержание оксида углерода, выделяемого из образующейся смолы, превышает предельно допустимую концентрацию этого газа в рабочей зоне. В небольших количествах компоненты и образуемая смесь выделяют также предельные и непредельные углеводороды (кроме ацетилена и изобутана).

Существенно влиять на состав рудничного воздуха может и угольная пыль, интенсивно образующаяся при использовании для отбойки угля высокопроизводительной угледобывающей техники. Для исследования выделения различных газов из проб угля, имеющих различные размеры составляющих их частиц, использовались сосуды, герметично закрываемые после помещения в них проб угля [12,13]. Уголь отбирался из различных пластов шахт Кузбасса, затем в лаборатории эти пробы дробили и рассеивали на различные

фракции. Уголь представляли частицы размером 1-3 мм, а в качестве угольной пыли использовались пробы с размером частиц 0,2-1,0 мм, 0,064-0,2 мм и менее 0,064 мм.

Пробы угля и угольной пыли выдерживали в герметично закрытых сосудах в течение 24 часов. Температура проб угля в ходе эксперимента поддерживалась постоянной, равной 25 °C. Затем из сосудов отбирались пробы воздуха и анализировались на содержание кислорода, углекислого газа, водорода, оксида углерода, метана, этана, этилена, пропана, пропилена и ацетилена. Изменение содержания в воздухе выделившегося из проб угля и угольной пыли оксида углерода в зависимости от размера частиц угля приведено в табл. 4.

Анализ полученных результатов показывает, что все пробы угля с размером частиц 1-3 мм выделяют при низкотемпературном окислении оксид углерода. Уменьшение размера частиц угля приводит к существенному увеличению выделения оксида углерода. Например, для угольной пыли размером менее 0,064 мм наблюдается возрастание образования оксида углерода в 2-4 раза по сравнению с насыпкой угля,

Таблица 4. Изменение содержания оксида углерода (%), выделившегося из проб угля в зависимости от размера частиц

Угольный пласт	Размер угольных частиц в пробах, мм			
	1-3	0,2-1,0	0,064-0,2	<0,064
Пл. 15	0,0084	0,0133	0,0179	0,0223
Пл. 7-7а	0,0065	0,0129	0,0175	0,0208
Пл. 26а	0,0076	0,0112	0,0142	0,0182
Пл. Безымянный	0,0362	0,0451	0,0879	0,1200
Пл. Сычевский ГУ	0,0524	0,0765	0,1246	0,1590
Пл. Грамотеинский II	0,0707	0,1350	0,1949	0,1948
Пл. Е-5	0,0152	0,0191	0,0200	0,0292

имеющей размер частиц 1-3 мм. Одновременно уголь и угольная пыль поглощали кислород, снижая его концентрацию в рудничной атмосфере.

Учитывая, что в выработанном пространстве и в действующих горных выработках могут образовываться значительные скопления угольной пыли, можно ожидать увеличения содержания оксида углерода в рудничной атмосфере в процессе выемки пласта за счет низкотемпературного окисления угля и угольной пыли. Повышение концентрации оксида углерода в выработанном пространстве будет происходить пропорционально массе угольной пыли, скапливающейся в пустотах отработанного пласта.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что применение некоторых веществ в шахте может вызвать повышение концентрации газов, являющихся индикатором опасных процессов. В частности, исследованные пеногенератор, смачиватель и полиуретановая смола «Шахтиклей» приводят к повышению содержания в рудничной атмосфере оксида углерода, что может ошибочно трактовать-

ся как развитие процесса самовозгорания угля. Концентрация индикаторных пожарных газов, выделяющихся из используемых веществ, будет увеличиваться с ростом объемов применяемых составов. На содержание таких газов в рудничной атмосфере будет влиять также расход воздуха, контактирующего с применяемым веществом.

Для предотвращения необоснованных затрат, направленных на ликвидацию не существующих очагов самовозгорания, необходимо определять фоновые значения индикаторных пожарных газов при использовании составов, выделяющих оксид углерода. Кроме того необходимо учитывать изменение фона оксида углерода по мере отработки лавы в связи с накоплением угольной пыли в выработанном пространстве. С целью повышения эффективности обнаружения начальной стадии процесса самовозгорания угля в шахтах, необходимо использовать альтернативные способы, в частности, контроль за влажностью воздуха, прошедшего через угольные скопления, наличием в воздухе жидких аэрозолей [14,15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шинкевич, М.В. Научно-техническая основа прогноза и управления метанообильностью подземных горных работ / М.В. Шинкевич, М.С. Плаксин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2014 – № 2 – С. 22 – 26.
2. Полевицков, Г.Я. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка / Г.Я. Полевицков, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Безопасность труда в промышленности. – Москва, 2014 – № 6 – С. 50 – 54.
3. Козырева, Е.Н. Уточнение технологических решений при проектировании выемочных участков и управлении газовыделением / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2014 – № 3 – С. 28 – 32.
4. Скочинский А.А., Огневский В.М. Рудничные пожары. – М.: Углетехиздат, 1954. – 387 с.
5. Линденau Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1977. – 319 с.
6. Портола В.А., Гуттер А.А. Оценка способа локации очагов подземных пожаров по составу газов в почве // Горный журнал. Изв. Вузов. – 1994. - № 7. – С. 51-55.
7. Портола В.А. Контроль подземных эндогенных пожаров по выделению радона с земной поверхности // Безопасность труда в промышленности.- 2004.- № 2.- С. 5-7.
8. Портола В.А., Гуттер А.А. Обнаружение самовозгорания угля по выделению радона // Безопасность труда в промышленности. – 1995. - № 11. – С. 31-33.
9. Игишев В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах / В. Г. Игишев. – М. : Недра, 1987. – 176 с.
10. Портола В.А. Особенности тушения очагов самовозгорания угля в шахтах // Безопасность труда в промышленности. - 2014. - № 6. - С. 42-46.
11. Игишев В.Г., Портола В.А. Параметры подачи пены при профилактике самовозгорания угля // Безопасность труда в промышленности. – 1987. - № 2. – С. 31.
12. Физические основы самовозгорания угля и руд/ В.С. Веселовский, Л.Н. Виноградова, Г.Н. Орлеанская и др. — М.: Наука, 1972. — 148 с.
13. Прогноз и профилактика эндогенных пожаров/ В.С. Веселовский, Л.Н. Виноградова, Г.Н. Орлеанская и др. — М.: Наука, 1975. — 159 с.
14. Портола В.А., Лабукин С.Н. Обнаружение очагов самовозгорания угля на ранней стадии развития // Безопасность труда в промышленности. - 2009. - № 4. - С. 34 - 37.
15. Белавенцев Л. П. Контроль ранних стадий самовозгорания угля по теплофизическими параметрам рудничного воздуха / Л. П. Белавенцев, В. А. Скрицкий, А. Я. Каминский // Способы и средства предупреждения самовозгорания угля в шахтах : труды / Вост. науч.-исслед. ин-т по безопасности работ в горной промышленности. – Кемерово, 1988. – С. 4–48.

SOURCES OF ALLOCATION OF CARBON MONOXIDE IN THE MINES

Portola Vyacheslav A.

Dr. Sc. (Engineering), Professor. E-mail: portola2@yandex.ru

Khramtsov Viktor I.

C. Sc. (Engineering). E-mail: hvi1949@mail.ru

Druzhinin Andrey A.

C. Sc. (Engineering). E-mail: drujininsnd@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

Results of investigation of the release of carbon monoxide substances used in mines, as well as coal dust in the low-temperature oxidation. It was found that the release of carbon dioxide from some of the materials used and the resulting coal dust can reduce the effectiveness of gas detection method for detecting endogenous fires.

Keywords: coal, coal dust, carbon monoxide, outbreak of spontaneous combustion, goaf, indicator gases, mine.

REFERENCES

1. Shinkevich, M.V. Nauchno-tehnicheskaja osnova prognoza i upravlenija metanoobil'nost'ju podzem-nyh gornyh rabot / M.V. Shinkevich, M.S. Plaksin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – Kemerovo, 2014 – № 2 – S. 22 – 26.
2. Polevshhikov, G.Ja. Nelinejnye izmenenija metanoobil'nosti vysokoproizvoditel'nogo vyemoch-nogo uchastka / G.Ja. Polevshhikov, E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – Moskva, 2014 – № 6 – S. 50 – 54.
3. Kozyreva, E.N. Utochnenie tehnologicheskikh reshenij pri proektirovaniyu vyemochnyh uchastkov i upravlenii gazovskydeleniem / E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – Kemerovo, 2014 – № 3 – S. 28 – 32.
4. Skochinskij A.A., Ogievskij V.M. Rudnichnye pozhary. – M.: Ugletehizdat, 1954. – 387 s.
5. Lindenau N.I., Maevskaja V.M., Krylov V.F. Proishozhdenie, profilaktika i tushenie jendogennyh pozarov. – M.: Nedra, 1977. – 319 s.
6. Portola V.A., Gutter A.A. Ocenka sposoba lokacii ochagov podzemnyh pozarov po sostavu gazov v pochve // Gornyj zhurnal. Izv. Vuzov. – 1994. - № 7. – S. 51-55.
7. Portola V.A. Kontrol' podzemnyh jendogennyh pozarov po vydeleniju radona s zemnoj poverhno-sti // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2004. - № 2. - S. 5-7.
8. Portola V.A., Gutter A.A. Obnaruzhenie samovozgoranija uglja po vydeleniju radona // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1995. - № 11. – S. 31-33.
9. Igishev V. G. Bor'ba s samovozgoraniem uglja v shahtah / V. G. Igishev. – M. : Nedra, 1987. – 176 s.
10. Portola V.A. Osobennosti tushenija ochagov samovozgoranija uglja v shahtah // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2014. - № 6. - S. 42-46.
11. Igishev V.G., Portola V.A. Parametry podachi peny pri profilaktike samovozgoranija uglja // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1987. - № 2. – S. 31.
12. Fizicheskie osnovy samovozgoranija uglja i rud/ V.S. Veselovskij, L.N. Vinogradova, G.N. Orleanskaja i dr. — M.: Nauka, 1972. — 148 s.
13. Prognoz i profilaktika jendogennyh pozarov/ V.S. Veselovskij, L.N. Vinogradova, G.N. Orleanskaja i dr. — M.: Nauka, 1975. — 159 s.
14. Portola V.A., Labukin S.N. Obnaruzhenie ochagov samovozgoranija uglja na rannej stadii raz-vitija // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2009. - № 4. - S. 34 - 37.
15. Belavencev L. P. Kontrol' rannih stadij samovozgoranija uglja po teplofizicheskim parametram rudnichnogo vozduha / L. P. Belavencev, V. A. Skrickij, A. Ja. Kaminskij // Sposoby i sredstva predu-prezhdjenija samovozgoranija uglja v shahtah : trudy / Vost. nauch.-issled. in-t po bezopasnosti rabot v gornoj promyshlennosti. – Kemerovo, 1988. – S. 4-48.

Received 2 April 2015