

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Д.т.н., проф. Прокопов А.Ю., Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону, к.т.н. Склепчук В.Л., ОАО «Ростовшахтострой», Россия
prokopov72@rambler.ru

Д.т.н., проф. Борщевский С.В., к.т.н., доц. Формос В.Ф., студ. Михеева А.А., ГВУЗ «ДонНТУ», г.Донецк, Украина borhevskiy@gmail.com

В статье рассмотрены методы оценки взрывоопасности газозвдушных смесей вертикальных стволов подземного рудника «Удачный» Удачнинского ГОКа АК «Алроса». Приведена методика определения категории взрывоопасности природных газов месторождения.

Ключевые слова: ствол, газовыделение, взрывание, шахтный воздух, горючий газ

С 2005 г. ОАО «Ростовшахтострой» по заказу АК «Алроса» ведет строительство вентиляционно-вспомогательного ствола диаметром в свету 8 м глубиной 1002 м подземного рудника «Удачный». С отметки -190,0 м прослеживаются высокие битуминозность и нефтепроявления, с отметки -540,0 м выделение в воздух выработок горючих углеводородных газов (УВГ) – гомологов метана (эктан, пропан, бутан). Подземные воды в породах кавернозно-порового типа по химическому составу представлены хлоридо-кальцевыми рассолами с минерализацией до 420 г/л.

При производстве взрывных работ (ВР) 9 августа 2006 г. (отм. -657,5) и 22 ноября 2007 г. (отм. -890,0 м) были зафиксированы аварии, связанные с взрывами газозвдушной смеси (ГВС) в стволе, в результате которых произошли нарушения целостности обшивки проходческого копра и деформация его конструкций, повреждение ставов вентиляции и водоотлива. По словам очевидцев, находившихся в момент производства взрывных работ на площадке, после взрыва основного заряда ВВ, с интервалом 3-5 с последовали «хлопки», после которых произошло нарушение целостности копра.

Комиссией по расследованию аварии установлено, что основной из причин взрыва ГВС стало отсутствие непрерывного проветривания забоя тупиковой выработки и отставания вентиляционного рукава более 10 м [1].

Однако авторитетными учеными [2-4] в разные годы установлено, что газовыделение из разрушенной взрывом горной массы происходит крайне неравномерно. При этом основная масса свободного газа (до 90%) поступает в воздух призабойного пространства в течение первой минуты, а половина сорбированного – в течение 5-10 минут. На рис. 1 представлены данные о концентрации метана в призабойном пространстве подготовительной выработки, полученные путем физического моделирования геомеханических и газодинамических процессов при разрушении призабойной зоны угольного пласта взрыванием шпуровых зарядов ВВ. Из данных рис. 1 следует, что своего пика концентрация метана в воздухе призабойного пространства достигла: при постоянно работающем вентиляторе (кривая 1) – через 1 мин. 52 с (39,8%), при остановленном на 5 минут непосредственно перед взрыванием (кривая 2) – через 57 с (61,4%).

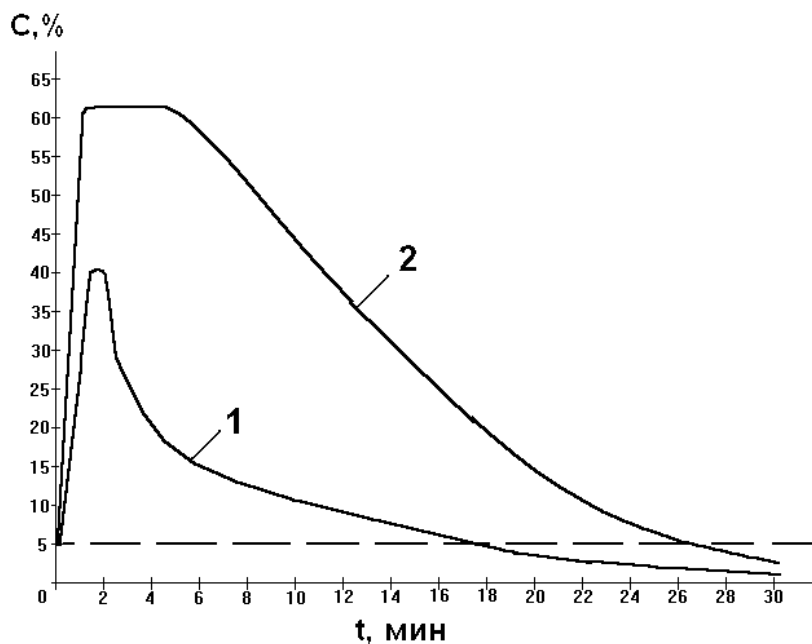


Рис. 1. - Характер изменения концентрации метана в призабойном пространстве выработки, проводимой по высокогазоносному угольному пласту

Приведенный пример доказывает, что какое-то время, разное для различных точек, удаленных на неодинаковое расстояние от окончания вентиляционной трубы, в них присутствуют взрывоопасные концентрации горючих газов (так называемые переходные процессы). При этом кратковременное (на несколько секунд) непосредственно во время взрыва прекращение проветривания не может сколько-нибудь существенно увеличить опасность развязывания взрыва, поскольку в результате того лишь несколько сдвигается по времени и увеличивается продолжительность

переходных процессов. В связи вышеизложенным взрывобезопасность проводимых выработок при ведении ВР может быть обеспечена за счет предупреждения возможности инициирования заведомо взрывоопасной смеси, как правило, благодаря использованию предохранительных ВВ и мгновенного или короткозамедленного взрывания.

Важной составляющей обеспечения безопасности проходки вертикальных стволов, пересекающих газонасыщенные породы, является постоянный контроль состава шахтной атмосферы, как в забое ствола, так и по всей его глубине. Несвоевременное выявление взрывоопасной концентрации газовой смеси при проходке стволов подземного рудника «Удачный» приводило к возникновению аварий, связанных со вспышками и взрывами газов [5].

Степень взрывоопасности газовой смеси определяется в % от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР). Степень взрывоопасности рудничного воздуха может быть определена как прямыми измерениями (приборами, отградуированными в % НКПР), так и расчетом по результатам анализа компонентного состава горючих газов в воздухе [6].

Значения НКПР индивидуальных горючих компонентов месторождения в смеси с воздухом приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Нижние концентрационные пределы распространения пламени горючих компонентов природных газов месторождения трубки «Удачная»

Наименование компонента	Формула	НКПР, % по объему
Водород	H ₂	4,0
Метан	CH ₄	4,4
Этан	C ₂ H ₆	2,5
Пропан	C ₃ H ₈	1,7
Бутан	C ₄ H ₁₀	1,4
Пентан	C ₅ H ₁₂	1,4
Гексан	C ₆ H ₁₄	1,0

Степень взрывоопасности многокомпонентной газовой смеси B , %НКПР, определяется по формуле

$$B = 100 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{НКПР_i}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация горючего компонента в воздухе, % по объему;

НКПР _{i} – нижний концентрационный предел распространения пламени горючего компонента, % по объему;

n – количество горючих компонентов.

Так, в результате хроматографического анализа шахтного воздуха при проходке вентиляционно-вспомогательного ствола (ВВС) подземного рудника «Удачный» получены следующие концентрации горючих компонентов в воздухе (в % по объему):

- метан – 0,355;
- этан – 0,052;
- пропан – 0,018;
- бутан – 0,005

По формуле (1) и значениям НКПР, приведенным в табл. 1, значение B составляет:

$$B = 100 \left(\frac{0,355}{4,4} + \frac{0,052}{2,5} + \frac{0,018}{1,7} + \frac{0,005}{1,4} \right) = 11,6 \text{ (\% НКПР)}.$$

Суммарное содержание горючих газов составляет 0,43 % по объему.

Из этого примера видно, что при концентрации горючих газов ниже допустимой величины (0,5 % по объему), степень взрывоопасности выше допустимой (10 % НКПР), то есть воздух по содержанию горючих газов не соответствует нормам.

Рудничное взрывозащищенное оборудование, серийно выпускаемое для подземных горных работ, соответствует I категории взрывоопасных смесей, а именно «метану на подземных горных работах». В соответствии с ГОСТ Р 12.1.011-88 под «метаном на подземных горных работах» понимается рудничный газ, в котором содержание водорода составляет не более 0,2 %, а тяжелых углеводородов не более 10 % от суммы горючих газов или газ, содержащий метан, его гомологи и водород в других соотношениях, если безопасный максимальный зазор (БЭМЗ) равен или более 1,0 мм.

Как показал анализ результатов определения качественного состава газов, выделявшихся при бурении геолого-разведочных скважин, в ряде случаев процентное соотношение компонентов отличается от регламентированного ГОСТом, но по величине БЭМЗ, по заключению ИПКОН РАН, по параметрам взрывоопасности природный газ месторождения трубки «Удачная» соответствует категории I.

Определение категории взрывоопасности природного газа является принципиально важным для работы рудника, поскольку от категории взрывоопасности зависит возможность или невозможность применения серийно выпускаемого оборудования. Категория взрывоопасных смесей, в свою очередь, определяется по их компонентному составу. Как уже

указывалось, компонентный состав природного газа на разных участках рудника может меняться, поэтому состав газа и категория взрывоопасности подлежат уточнению. Для определения компонентного состава природного газа на руднике систематически отбираются пробы из скважин и шпуров.

Для оценки категории взрывоопасности смеси газов, выделяющейся при проходке вертикальных стволов рудника «Удачный» воспользуемся методикой ИПКОН РАН, сущность которой заключается в следующем.

Для определения категории взрывоопасности газа, содержащего водород, метан и его гомологи (тяжелые углеводороды), состав газа характеризуется двумя параметрами: относительным содержанием водорода C_{H_2} в % от суммы горючих газов и средневзвешенной плотностью углеводородной части газа d_{yg} , кг/м³, которая вычисляется по формуле:

$$d_{yg} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{C_n H_{2n+2}} \cdot d_{C_n H_{2n+2}})}{\sum_{i=1}^n C_{C_n H_{2n+2}}}, \quad (2)$$

где $C_{C_n H_{2n+2}}$ – концентрация углеводорода в природном газе, % по объему;

n – число атомов углерода в молекуле углеводорода;

$d_{C_n H_{2n+2}}$ – плотность углеводорода, кг/м³.

Было установлено, что величина минимального тока воспламенения газа сложного состава, содержащего водород, метан и его гомологи, соответствует I категории взрывоопасных смесей, если на графике в системе координат $x = d_{yg}$, $y = C_{H_2}$ точка, характеризующая состав газа, располагается в области, ограниченной осью ординат и кривой (границей I и II категорий), построенной по точкам со следующими координатами:

- 1 – $x = d_{yg} = 0,717$ кг/м³, $y = C_{H_2} = 9,0$ % от суммы горючих;
- 2 – $x = d_{yg} = 0,797$ кг/м³, $y = C_{H_2} = 5,4$ % от суммы горючих;
- 3 – $x = d_{yg} = 0,896$ кг/м³, $y = C_{H_2} = 2$ % от суммы горючих;
- 4 – $x = d_{yg} = 0,973$ кг/м³, $y = C_{H_2} = 0$ % от суммы горючих.

При расчете величины d_{yg} плотности углеводородов $d_{C_n H_{2n+2}}$ принимаются равными (в кг/м³): метан – 0,717, этан – 1,344, пропан – 1,967, бутан – 2,598, пентан – 3,22, гексан – 3,88.

По результатам хроматографического анализа получены следующие величины содержания горючих компонентов (% по объему) в пробе, отобранной из скважины при разведке месторождения трубки «Удачная»:

- водород - 0,79;
- метан - 76,40;
- этан - 4,14;
- пропан - 1,05;
- бутан - 0,46.

Суммарное содержание горючих газов составляет:

$$0,79 + 76,40 + 4,14 + 1,05 + 0,46 = 82,84 \text{ (\% по объему)}.$$

Величина C_{H_2} (в % от суммы горючих газов) равна: $0,79 \cdot 100 / 82,84 = 0,95$

По формуле (2) величина d_{yg} равна:

$$d_{yg} = \frac{76,4 \cdot 0,717 + 4,14 \cdot 1,344 + 1,05 \cdot 1,967 + 0,46 \cdot 2,598}{76,4 + 4,14 + 1,05 + 0,46} = 0,775 \text{ кг/м}^3.$$

Далее на график наносим точку с координатами $x = C_{H_2} = 0,95$ % по объему, $y = d_{yg} = 0,775$ кг/м³ (рис. 2).

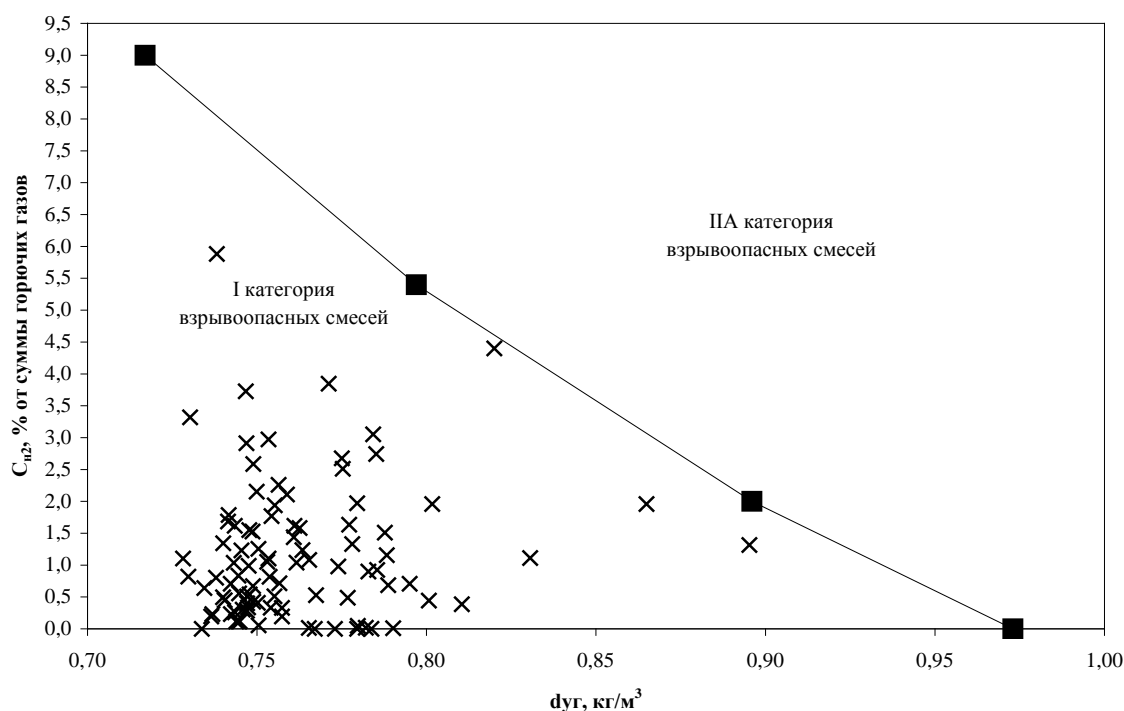


Рис. 2. - Диаграмма определения категории взрывоопасных смесей по результатам, полученным при отборе проб из скважин при разведке месторождения трубки «Удачная»

В данном случае точка располагается слева от граничной кривой, то есть природный газ соответствует категории I взрывоопасных смесей.

Описанный метод определения категория взрывоопасности газозелудушной смеси позволит подобрать оборудование, а также организационно-технические и технологические мероприятия, обеспечивающие взрывобезопасность при проходке стволов подземного рудника «Удачный» на участках пресечения газоносных пород.

Библиографический список

1. Материалы официального расследования причин и обстоятельств аварии в вентиляционно-вспомогательном стволе рудника «Удачный», произошедший 9 августа 2006 г. – Удачный, 2006.
2. Мясников, А.А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.А.Мясников, С.П. Старков, В.И. Чикунов. – М.: Недра, 1985. – 204 с.
3. Шередекин, Д.М. Аэрогазодинамика подготовительных выработок / Д.М. Шередекин, А.Д. Кизряков. – М.: Недра, 1985. – 212 с.
4. Гращенков, Н.Ф. Особенности газовой динамики при работе ВМП // Безопасность труда в промышленности. – 1977. – № 9. – С. 49-51.
5. Прокопов А.Ю., Тимофеев Д.Н., Склепчук В.Л. Анализ причин и последствий аварии при проходке вентиляционно-вспомогательного ствола рудника «Удачный»// Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Сб. науч. тр. – Донецк: Норд-пресс, вып. 15, 2009. – С. 78 – 80.
6. Специальные мероприятия газового режима при ведении горных работ на подземном руднике «Удачный» в условиях нефтегазопоявлений на период строительства до выхода на проектную мощность. – Мирный: ЯкутНИПРОалмаз, 2008. – 143 с.