

УДК 622.868:622.411.33

Ю.Н. Перехрест, главный специалист дирекции по добыче угля ДТЭК, Донецк

АЭРОГАЗОДИНАМИКА ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОЖАРНЫХ УЧАСТКОВ

*Yu.N. Perekhrest, main specialist of the Coal production management
(DTEK private company, Donetsk)*

AERO- AND GAS-DYNAMICS OF ISOLATED FIRE DISTRICTS

Цель. Исследование аэрогазодинамических процессов, происходящих в аварийном участке после его изоляции.

Методика. Базируется на основных законах аэродинамики.

Результаты. Установлено, что изоляция пожарного участка сводит к минимуму влияние на него вентиляторов главного проветривания. В изолированном пространстве происходит перемешивание газов под действием тепловой депрессии пожара и других факторов.

Научная новизна. Установлено, что объемная доля метана, получаемого из-за изолирующих перемычек, может неадекватно отражать сложившуюся ситуацию в аварийном участке.

Практическая значимость. Выявленные закономерности позволяют более надежно прогнозировать газовую обстановку в ходе ведения аварийно-спасательных работ и своевременно принимать меры по предотвращению взрывов метановоздушных смесей.

Ключевые слова: горная выработка, пожар, тушение пожара, изоляция пожара, метанонакопление.

Постановка проблемы. К изоляции пожара прибегают в условиях, когда пожар невозможно ликвидировать активным способом. При этом в изолированном пространстве скапливается метан и может произойти взрыв. Это создает угрозу людям, находящимся у аварийного участка. Для оценки опасности необходимо знать аэрогазовые процессы, происходящие в изолированном пространстве.

Анализ последних публикаций показал, что процессы, происходящие в изолированных пространствах, изучены недостаточно. Это не позволяет надёжно прогнозировать газовую обстановку в ходе ведения аварийно-спасательных работ.

Цель работы – исследование аэрогазодинамических процессов, происходящих в изолированном участке после его изоляции.

Материал исследования. В настоящее время утечки воздуха через изолированные пожарные участки не нормируют. Но известно, что для того чтобы прекратилось пламенное горение, объемная доля кислорода в изолированном участке должна быть не более 8 %, а для прекращения тления – не более 2 %. Поэтому во всех случаях утечки воздуха через изолированный участок стремятся свести к минимуму. Практика показала, что утечки удаётся удерживать в пределах от 10 до 30 м³/мин [1].

Известно, что режим движения воздуха в горной выработке определяют числом Рейнольдса, равным [2]

$$Re = uD/\nu, \quad (1)$$

где Re – число Рейнольдса;

u – средняя скорость движения воздуха в выработке, м/с;

D – гидравлический диаметр выработки, м;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Экспериментально установлено, что для шахтных выработок критическое значение числа Re , характеризующего переход из ламинарного в турбулентное движение, находится в пределах от 1000 до 1500. Расчёты, проведенные по формуле (1), показывают, что минимальная скорость, при которой движение в шахте остаётся турбулентным, находится в пределах от 0,005 до 0,015 м/с. При значениях утечек воздуха, указанных выше, скорость движения воздуха в большинстве случаев 0,015...0,050 м/с, т.е. режим движения воздуха может быть турбулентным и ламинарным. Однако, учитывая, что огонь и связанные с ним процессы являются турбулизаторами, далее при анализе будем считать, что режим движения воздуха в изолированных пожарных участках турбулентен, а связь между депрессией и расходом воздуха имеет вид [1]

$$h = RQ^2, \quad (2)$$

где h – депрессия выработки (участка), Па;

R – аэродинамическое сопротивление выработки (участка), Па·с²/м⁶;

Q – расход воздуха в выработках участка, м³/с.

Рассмотрим выемочный участок, депрессию которого в нормальных условиях описывает уравнение

$$h_{\text{н}} = RQ_{\text{н}}^2, \quad (3)$$

где $h_{\text{н}}$ – депрессия выемочного участка в нормальных условиях, Па;

$Q_{\text{н}}$ – расход воздуха, подаваемого на выемочный участок, м³/с.

После изоляции выемочного участка депрессия изолированного пространства равна

$$h_{\text{и}} = RQ_{\text{ут}}^2, \quad (4)$$

где $h_{\text{и}}$ – депрессия изолированного пространства, Па;

$Q_{\text{ут}}$ – утечки воздуха через изолированный участок, м³/с.

Кратность снижения депрессии выемочного изолированного пространства, находящегося между изоляционными перемычками, равна

$$K_{\text{к}} = \frac{h_{\text{н}}}{h_{\text{и}}} = \left(\frac{Q_{\text{ут}}}{Q_{\text{н}}} \right)^2. \quad (5)$$

Анализ депрессионных съёмок угольных шахт, проводимый депрессионной службой ГВГСС, показал, что средний расход воздуха на выемочном участке газовых шахт – около 1200 м³/мин. Учитывая это и приняв среднее значение утечек воздуха через изолированный участок $Q_{ут} = 20$ м³/мин, по формуле (5) получим кратность снижения расхода воздуха в изолированном пространстве K_k : $K_k = 3600$.

Согласно вышеупомянутым депрессионным съёмкам средняя депрессия выемочного участка – около 600 Па. Исходя из приведенных данных находим, что средняя депрессия изолированного пространства, находящегося между изолированными перемычками, равна $h_{и.у} \approx 0,17$ Па.

Из приведенного анализа следует, что депрессия, создаваемая вентилятором главного проветривания в изолированном пространстве, ничтожно мала по сравнению с первоначальными депрессиями. Вентилятор главного проветривания практически не оказывает влияния на процессы, происходящие в изолированном пространстве.

При пожаре в горной выработке воздух нагревается, становится легче и устремляется вверх. Возникает новый источник тяги, который носит название «тепловая депрессия пожара». Её значение можно определить гидростатическим методом [1] по формуле

$$h_T = \Delta Z g (\rho_1 - \rho_2), \quad (6)$$

где h_T – тепловая депрессия пожара, Па;

ΔZ – высота нагретого потока воздуха или разность его высотных отметок, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ_1 – плотность воздушного потока, поступающего в зону пожара, кг/м³;

ρ_2 – плотность воздушного потока, выходящего из зоны пожара, кг/м³.

При пожаре плотность нагретого воздуха уменьшается и подсчитывают ее по формуле

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_1}{T_2}, \quad (7)$$

где T_1 – абсолютная температура воздуха, выходящего из зоны пожара, °С;

T_2 – абсолютная температура воздуха, входящего в зону пожара, °С.

Минимальное значение тепловой депрессии наблюдается при пожаре в горизонтальной выработке, так как высота нагретого столба ограничена высотой выработки. Температура нагретых пожарных газов в очаге пожара равна 1200 °С при горении древесины и 1400 °С при горении угля, метана и масла. Приняв $\Delta Z = 2$ м (высота выработки) и $T_1 = 1200$ °С, по формулам (6) и (7) получим, что $h_T = 19$ Па. Полученное значение тепловой депрессии пожара значительно превосходит депрессию, которую создаёт в изолированном

пространстве вентилятор главного проветривания. Поэтому основное влияние на направление движения воздуха в изолированном пространстве оказывают тепловые процессы.

Вышесказанное согласуется с результатами огневых экспериментов, проведенных в опытной штольне НИИГД «Респиратор», состоящей из горизонтальной выработки длиной 187 м, нагнетательного вентилятора и вспомогательного оборудования. Площадь сечения штольни 4,2 м². Перед проведением экспериментов в штольне устанавливали деревянные крепёжные рамы. Чтобы вызвать загорание крепи, зажигали костры, сложенные из дров. Костры раскладывали примерно на расстоянии 50 м от входа в штольню со стороны свежей струи. При проведении исследований продукты горения (пожарные газы) устремлялись не только по направлению вентиляционной струи, но и против её движения. Причём нагретые газы перемещались навстречу вентиляционному потоку у кровли, а остывшие возвращались к очагу пожара по нижней части выработки. После перекрытия входа в штольню брезентовой перемычкой пространство, расположенное между перемычкой и очагом пожара, полностью заполнялось продуктами горения, т.е. при малых скоростях движения воздуха продукты горения двигались в обе стороны от очага пожара.

На газовых шахтах за счёт конвективных потоков в изолированных пожарных участках метан распространяется навстречу вентиляционной струе. Происходит перемешивание метана в изолированном пространстве. Это согласуется с наблюдениями, произведенными на шахте «Комсомолец Донбасса», где 14.04.2013 начался пожар в выработанном пространстве 1-й западной лавы пласта ℓ_1 . В нормальных условиях свежий воздух на проветривание выемочного участка подавали по двум выработкам – конвейерному и воздухоподающему штрекам (см. рисунок). Отработанный воздух отводили через северный вентиляционный штрек.

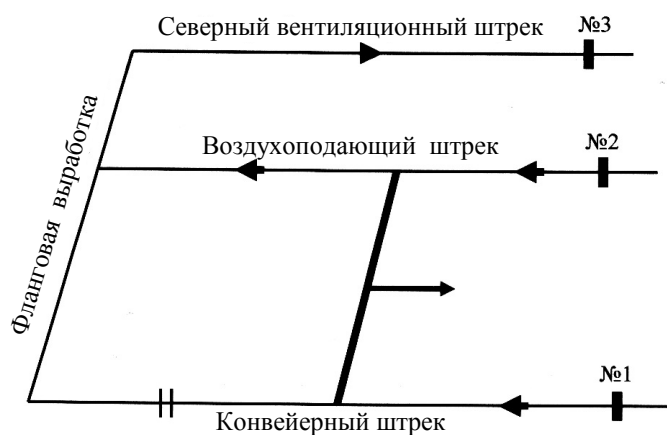


Схема аварийного участка шахты «Комсомолец Донбасса»

Все попытки потушить пожар активным способом не увенчались успехом, поэтому выемочный участок изолировали тремя взрывоустойчивыми перемычками. Перемычки № 1 и 2 находились со стороны свежей струи, а перемычку № 3 располагали в выработке с исходящей струей.

Пробы воздуха из изолированного пространства отбирали дистанционным способом. Измерения концентрации метана, выполненные в период активной стадии тушения пожара, показали, что основным источником метановыделения в этот период было выработанное пространство 1-й западной лавы. Поэтому два пункта отбора проб воздуха расположили в воздухоподающем штреке между фланговой выработкой и 1-й западной лавой (пункты *а* и *б*). Расстояние между указанными пунктами 120 м. Дополнительно пробы воздуха отбирали из-за перемычки № 2 (пункт *в*) и из-за перемычки № 3 (пункт *г*). Из-за перемычки № 1 пробы не отбирали, поскольку конвейерный штрек вместе с перемычкой № 1 был затоплен водой и он стал непроходимым для людей и для воздуха.

Изоляцию пожара завершили 30 апреля, а пробы воздуха начали периодически отбирать с 1 мая (см. таблицу).

Объемная доля метана в пробах воздуха

Дата отбора проб	Время отбора проб	Объемная доля метана в пунктах, %			
		<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
01.05.13	6-00	7,7	7,0	4,8	2,1
01.05.13	16-00	10,0	11,0	6,3	3,6
02.05.13	6-00	13,0	13,0	12,0	6,1
02.05.13	16-00	15,0	15,0	14,0	10,2
03.05.13	6-00	26,0	23,0	21,0	17,0
03.05.13	16-00	35,0	28,0	21,0	15,0
04.05.13	6-00	27,0	32,0	31,0	34,0
04.05.13	16-00	32,0	31,0	36,0	36,0
05.05.13	6-00	48,8	52,0	50,0	48,0

Из таблицы видно, что максимальные объемные доли метана зафиксированы в пунктах *а* и *б*. Из этих пунктов метан распространялся в обе стороны к перемычкам № 2 и 3. Причём объемная доля метана у перемычки № 2 была даже выше, чем у перемычки № 3. Только через трое суток объемная доля метана у обеих перемычек стала примерно одинаковой.

Анализ таблицы также показывает, что постепенно происходит выравнивание объемных долей метана в пунктах наблюдений под действием тепловой депрессии пожара, естественной тяги и диффузии. Однако в начальный период пробы воздуха, отобранные из-за перемычек, существенно отличаются от остальных проб.

Выводы и направления дальнейших исследований:

- изоляция пожарного участка сводит к минимуму влияние вентиляторов главного проветривания на изолированное пространство;
- в изолированном пространстве происходит перемешивание газов под действием тепловой депрессии пожара и других факторов;
- данные об объемной доле метана за перемычками могут неадекватно отражать сложившуюся ситуацию в аварийном участке.

Направление дальнейших исследований – разработка методики прогнозирования газовых процессов в изолированном пространстве, учитывающей полученные результаты.

Список литературы / References

1. Пашковский П.С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П.С. Пашковский, В.И. Лебедев. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с.
Pashkovsky, P.S., Lebedev, V.I. (2012), *Provetrivanie shakht pri podzemnykh pozharakh* [Ventilation of mines by underground fires], Arpi, Donetsk, Ukraine.
2. Вентиляция шахт, рудников и подземных сооружений / Ю.В. Шувалов, С.Г. Гендлер и др. – СПб: СПбГГИ, 2007. – 160 с.
Shuvalov, Yu.V., Gendler, S.G. etc (2007), *Ventilatsiia shakht, rudnikov i podzemnykh sooruzhenii* [Ventilation of mines, pits and underground structures], SPbGGI, St. Petersburg, Russia.

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук В.И. Лебедевым.
Дата поступления рукописи 19.02.2014

Ціль. Дослідження аерогазодинамічних процесів, що відбуваються в аварійній ділянці після її ізоляції.

Методика. Базується на основних законах аеродинаміки.

Результати. Установлено, що ізоляція пожежної ділянки зводить до мінімуму вплив на нього вентиляторів головного провітрювання. В ізолюваному просторі відбувається перемішування газів під дією теплової депресії пожежі й інших факторів.

Наукова новизна. Встановлено, що об'ємна частка метану, одержуваного через ізолюючі перемички, може неадекватно відтворювати ситуацію, що сформувалася в аварійній дільниці.

Практична значущість. Виявлені закономірності дозволяють більш надійно прогнозувати газову обстановку в ході ведення аварійно-рятувальних робіт і вчасно вживати заходів по запобіганню вибухів метаноповітряних сумішей.

Ключові слова: гірнична виробка, пожежа, гасіння пожежі, ізолювання пожежі, метанонакопичування.

Purpose. Investigation of the aero- and gas-dynamic processes occurring in an accidental district after its isolation.

Methodology. The methodology is based on the principal laws of aerodynamics.

Results. It is ascertained that isolation of the fire district reduces to a minimum the influence of main fans on it. The intermixing of gases under the influence of the thermal depression of the fire and other factors takes place in the isolated space.

Scientific novelty. It is established that the volume fraction of methane being received from behind the isolating stoppings may not adequately reproduce the situation existed in the accidental district.

Practical value. The regularities ascertained allow us to forecast the gas situation in the course of carrying-out the emergency-and-rescue operations more reliably and to take measures on prevention of the explosions of methane-air mixtures in proper time.

Keywords: mine working, fire, fire-fighting, fire isolation, methane accumulation.