

УДК 622.822.7: 622.824

Кравченко М.В., к.ф-м.н, с.н.с., доцент
ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия строительства и
архитектуры" (ДоННАСА), г. Макеевка

Кравченко Н.М., к.т.н., с.н.с., старший научный сотрудник
ГУ Институт проблем искусственного интеллекта, г. Донецк

Kravchenko M. V. Ph.D., senior researcher, associate professor
"Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture"
(DONNASA), Makeevka

Kravchenko N. M. Ph.D., senior researcher, senior researcher
Government agency "Institute of problems of artificial intelligence",
Donetsk

ОБ ОПАСНОСТИ КОНВЕКТИВНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ПОЖАРАХ И ОЦЕНКЕ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

ON THE DANGER OF CONVECTIVE FLOWS IN FIRE AND THE DETERMINATION OF THEIR INFLUENCE ON AIR DISTRIBUTION IN THE MINING NETWORK

При подземных пожарах продукты горения смешиваются с воздушным потоком и распространяются по сети горных выработок. В результате образуется группа подземных выработок, в атмосфере которых содержание опасных для человека вредных веществ может превысить допустимые нормы в несколько раз. Формируется, так называемая, зона пожарных газов. Как следует из опыта ликвидации аварий и экспериментальных данных, распространение пожарных газов существенно зависит от параметров пожара (вида и объема горящих материалов, времени горения, тепловой депрессии и др.), наклона аварийной выработки, её геометрических размеров, расхода воздуха до и во время аварии.

При ликвидации пожаров часто с помощью вентиляционных маневров сокращают подачу воздуха на аварийный участок - для снижения интенсивности горения. Скорость воздушной струи может уменьшаться и самопроизвольно, вследствие увеличения естественной тяги. Снижение скорости воздуха в выработке с очагом пожара способствует образованию под ее кровлей встречных конвективных потоков газо-воздушной смеси, поскольку при малых скоростях воздуха нагретые газы не успевают смешиваться с воздушным потоком и могут двигаться ему навстречу. При этом,

ядовитые продукты горения со встречным конвективным потоком поступают в выработки со свежей струей воздуха, примыкающие к аварийной, и распространяются дальше по сети.

То есть, концентрация оксида углерода и других вредных примесей может достигать опасных пределов как в выработках по ходу струи, исходящей из аварийного участка, так и в расположенных на свежей струе, где могут быть люди.

В работе [1] упоминается взрыв и последующий пожар на шахте Whitehaven, когда продукты горения распространились навстречу вентиляционной струе на 335 м, погибли 86 человек. Эти же авторы наблюдали случай, когда при небольшом пожаре на конвейере образовался встречный шлейф пожарных газов длиной 90 м (скорость вентиляционной струи при этом составляла около 0,25 м/с).

Вынос продуктов горения нагретыми газами навстречу свежей струе воздуха неоднократно фиксировался в ходе ликвидации пожаров [2 - 4] на шахтах, в дорожных тоннелях при экспериментах в штольнях.

Так, на шахте «Миусской», которая разрабатывала пологий пласт и была отнесена ко II категории по метану, возник пожар в восточном вентиляционном шурфе (рис. 1) во время резки вентиляторной установки на металлолом [2].

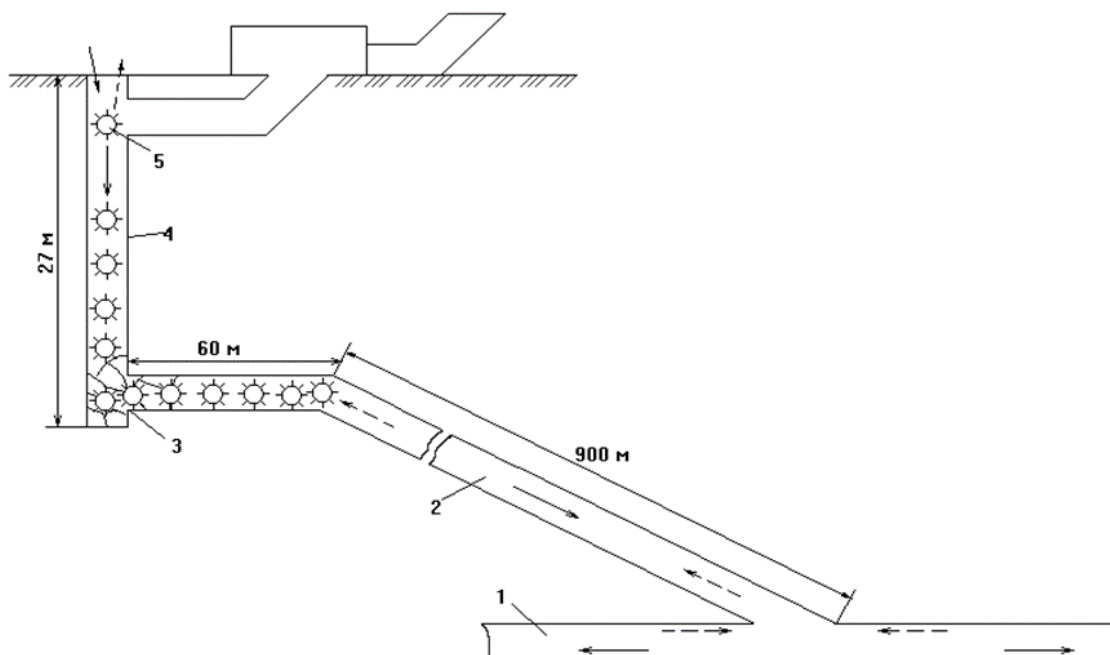


Рис. 1- Схема горных выработок пожарного участка шахты «Миусская»:
1 – фрагмент горных выработок, примыкающих к вентиляционной сбойке;
2 – восточная вентиляционная сбойка; 3 – завал; 4 – вентиляционный шурф;
5 – очаг пожара.

Схема проветривания шахты фланговая, способ проветривания всасывающий. При проведении огневых работ не соблюдались необходимые меры пожарной безопасности. Из-за этого искры попали в шурф и воспламенили деревянную крепь. Восточный вентиляционный шурф глубиной 27м был пройден на пласт h_7 «Кашеевский» для проветривания выработок транспортного уклона восточного крыла шахты. По этому шурфу, закрепленному деревянной крепью, поступало $750 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. Пожар был обнаружен по запаху гари и дыму, поступающим из восточной вентиляционной сбойки. Чтобы предотвратить распространение продуктов горения в начальный период аварии были реверсированы вентиляторы на главном стволе и на западной вентиляционной сбойке. Пожар быстро развился, распространился по шурфу вниз и по восточной вентиляционной сбойке на 60 метров. Поскольку крепь шурфа выгорела, в нижней его части произошел завал, существенно перекрывший сечение выработки. В результате расход воздуха по восточной вентиляционной сбойке сократился до $30 \text{ м}^3/\text{мин}$ и образовались конвективные потоки продуктов горения. В верхней части сечения сбойки воздух двигался вверх, а в нижней части - вниз. Верхняя часть сбойки была задымлена, температура воздуха достигала 50°C . Противопожарный трубопровод в сбойке отсутствовал, и дальнейшее тушение пожара было крайне затруднено.

Отметим аварии на шахте имени газеты «Комсомольская правда» ПО «Ростовуголь» (г. Новошахтинск). Так в 1984 г. в ходке уклона № 5 из-за трения конвейерной ленты на приводах произошло ее возгорание. Очаг пожара образовался в нижней части ходка, длина которого – 400 м. Проветривание ходка до аварии было нисходящим (угол наклона выработки 12-14 градусов), расход воздуха составлял 500 - 600 $\text{м}^3/\text{мин}$. В начальной стадии пожара наблюдалось задымление верхней части (узкая полоса под кровлей) ходка, и отмечалось появление оксида углерода на свежей струе на расстоянии 350 м до очага возгорания. Полного опрокидывания вентиляционного потока в аварийной выработке удалось избежать. Пожар был потушен на ранней стадии. В 1986 году пожар произошел в горизонтальной выработке – обходной уклона № 3, длиной 150 м. В выработке было 400 метров старой резинотросовой ленты шириной 0,8 м. От сварочных работ воспламенилась угольная мелочь, и начала гореть растрепанная лента. До аварии по выработке сечением $11-12 \text{ м}^2$ поступало 250-300 $\text{м}^3/\text{мин}$ воздуха. В начальной стадии пожара на расстоянии 80 метров от очага наблюдалось задымление верхней части выработки, что не позволяло подойти к месту возгорания для активного тушения. Только после увеличения подачи воздуха на аварийный участок (за счет закорачивания и влияния естественной тяги) горноспасатели смогли подобраться к очагу и приступить к его тушению.

На шахте № 20-20 бис (г. Шахтерск) при пожаре во вспомогательном уклоне (пожар возник в 150 метрах ниже приемной площадки) конвективные потоки по верхней части уклона выходили на приемную площадку, а по

нижней части двигался свежий воздух. Полного опрокидывания вентиляционной струи удалось избежать, ограничив подачу свежего воздуха в 13 восточную и 13 западные лавы.

По наблюдениям Белопола А.Н. [5], «по мере развития пожара усиливаются конвекционные токи, постепенно распространяющиеся по верхней части выработок, от очага пожара навстречу свежей струе, в то время как по нижней части выработки продолжает идти холодная струя прежнего направления. Иногда конвекционные токи действуют на сотни метров». Так, известно, что на шахте им. Октябрьской революции при пожаре продукты горения распространились навстречу вентиляционной струе на расстояние порядка 700 м. Как отмечается в работе [6], «пожар, объектом горения которого является деревянная крепь, не распространяется против струи воздуха при скорости ее 1,7 м/с, являющейся критической скоростью. При меньших скоростях пожар развивается как по струе воздуха, так и против нее».

По статистическим данным, порядка 80% от общего числа жертв рудничных пожаров погибают из-за отравления газообразными продуктами горения.

Таким образом, образование при авариях в подземных выработках конвективных потоков пожарных газов, движущихся навстречу струе свежего воздуха, подтверждается множеством фактических данных. Это обстоятельство должно учитываться при разработке планов ликвидации аварий (ПЛА) и принятии оперативных решений в ходе ликвидации аварий.

На этапе подготовки планов ликвидации аварий необходимо оценивать риск возникновения встречных газовых потоков в каждом конкретном случае.

Исследованиями подземных экзогенных пожаров и разработкой тактики ведения горноспасательных работ занимаются ученые России и других угледобывающих стран [5 - 7, 9]. Результаты их работ используются в ходе ликвидации аварий. Однако, предложенные расчётные методики имеют ограниченную область применения, так как в них используются эмпирические зависимости и коэффициенты. Теоретические модели содержат ряд неточностей и несоответствий. В подавляющем большинстве работ анализируются процессы только в ближайшей области пожара и не рассматриваются особенности распространения токсичных веществ в выработках, примыкающих к аварийной, что не позволяет оценить влияние конвективных потоков на всю вентиляционную сеть.

В работе [8] была предложена постановка задачи для изучения влияния тепловых источников на распределение воздуха в горной выработке в общем виде. Нам представляется, что эффективное решение этой задачи можно реализовать с помощью программного комплекса «Вентиляция шахт» [9], предназначенного для моделирования воздухораспределения в шахтных вентиляционных сетях.

Алгоритм решения удобно представить в следующем виде:

- 1) расчёт распределения воздуха в сети горных выработок (базовое воздухораспределение за счёт принудительных источников тяги – вентиляторов главного и местного проветривания и источников естественной тяги);
- 2) определение температуры в выработках, где они отличаются от своих значений при нормальных условиях;
- 3) уточнение коэффициентов плотности воздуха;
- 4) корректировка информации о естественной тяге и аэродинамическом условном сопротивлении;
- 5) расчёт воздухораспределения в шахтной сети с учётом продольной составляющей естественной тяги [8];
- 6) исследование скоростной структуры вентиляционного потока в выработке с дополнительными тепловыми источниками.

Предложенный подход позволит: оценить риск опрокидывания вентиляционной струи под кровлей выработки из-за дополнительного теплового источника тяги; выделить в сети группу выработок, в которых сокращение скорости воздуха ниже определенного предела недопустимо. Что, особенно важно, можно будет исследовать влияние теплового источника на поступающие струи свежего воздуха и возможность попадания в них продуктов горения, содержащих токсичные газы.

Возможность образования встречных потоков воздуха с токсичными примесями нужно учитывать при выборе индивидуальных средств защиты дыхания и определении путей эвакуации людей из зоны аварии.

В дальнейшем предполагается разработать необходимые подпрограммы для автоматизации расчёта, наглядного представления результатов решения задачи и генерации отчётных форм.

Список литературы

1. Eisner, H.S., Smith, P.B. Convection effects from underground fires //Colliery Guardian. – 1954. – vol.189, № 4879. – p. 311-315.
2. Опыт ликвидации сложных аварий на угольных шахтах Украины / Ю.А. Гладков, И.П. Белик, Н.И. Привалов и др. – К.: Тэхника, 1992. – 192 с.
3. Kumar, S., Cox, G. Mathematical Modelling of Fires in Road Tunnels // 5-th Int. Symposium on Aerodynamics and Ventilation in Vehicle Tunnels. – 1985. – p. 61-76.
4. Осипов, С.Н., Жадан, В.М. Вентиляция шахт при подземных пожарах. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
5. Белопол, А.Н. Тушение рудничных пожаров. – Кемерово, 1959. – 38 с.
6. Устинов, А.М. Определение параметров встречного конвективного потока при пожаре в горной выработке / А.М. Устинов, Г.В. Калякин, В.В. Кравчук, В.М. Татаренко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1986. – № 2. – С. 94-96.

7. Мацугума, К. и др. Изучение распространения пожара по деревянной крепи в горной выработке. Моделирование // Сэйко то хоан. – 1974. – т.20, № 5. – С. 234-240.
8. Пашковский, П.С., Кравченко, Н.М. Влияние различных источников тяги на воздухораспределение в горных выработках. - Науковий вісник - Киев: УкрНДІПБ - 2002, № 1 (5), с. 161 - 165.
9. Кравченко, М.В. Опыт использования компьютерной системы «Вентиляция шахт» для решения задач техносферной безопасности [Электронный ресурс] / М.В. Кравченко, Н.М. Кравченко, П.С. Пашковский // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сб. материалов XII Междунар. науч.-практ. конф. - Кемерово: Изд. КузГТУ, 2017. - С.117-1 - 117-8. Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2017/bgd2017/pages/Articles/117.pdf>

References

1. Eisner, H.S., Smith, P.B. Convection effects from underground fires //Colliery Guardian. – 1954. – vol.189, № 4879. – p. 311-315.
2. Experience of liquidation of complex accidents at coal mines of Ukraine / Yu. A. Gladkov, I.P. Belik, N.I. Privalov and others - K .: Tehnika, 1992 .- 192 p.
3. Kumar, S., Cox, G. Mathematical Modelling of Fires in Road Tunnels // 5-th Int. Symposium on Aerodynamics and Ventilation in Vehicle Tunnels. – 1985. – p. 61-76.
4. Osipov, S.N., Zhadan, V.M. Ventilation of mines in case of underground fires.- Moscow: Nedra, 1973 .- 152 p.
5. Belopol, A.N. Extinguishing mine fires. - Kemerovo, 1959 . - 38 p.
6. Ustinov, A.M. Determination of the parameters of a counter convective flow during a fire in a mine working / A.M. Ustinov, G.V. Kalyakin, V.V. Kravchuk, V.M. Tatarenko // Physical and technical problems of mineral development. - 1986. - No. 2. - p. 94-96.
7. Matsuguma, K. et al. Study of fire propagation along timber support in mine workings. Modeling // Seiko to hoan. - 1974. - v. 20, No. 5. - p. 234-240.
8. Pashkovsky, P.S., Kravchenko, N.M. Influence of various sources of thrust on air distribution in mine workings. - Science Visnik - Kiev: UkrNDIPB - 2002, No. 1 (5), p. 161 - 165.
9. Kravchenko, M.V. Experience of using the computer system "Ventilation of mines" for solving problems of technosphere safety [Electronic resource] / M.V. Kravchenko, N.M. Kravchenko, P.S. Pashkovsky // Life safety of enterprises in industrially developed regions: collection of articles. materials XII Intern. scientific-practical conf. - Kemerovo: Ed. KuzGTU, 2017 .- P.117-1 - 117-8. Access-mode: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/BGD/2017/bgd2017/pages/Articles/117.pdf>