

УДК 622.82:622.867

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2020.18.3.005

## Исследование температурного поля в горной выработке в окрестности очага пожара при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах

*Агарков А.В.*

*НИИГД «РЕСПИРАТОР» МЧС ДНР*

### **Аннотация:**

Представлена актуальность мониторинга и контроля шахтной среды при ликвидации пожаров на горнодобывающих предприятиях. Приведены результаты исследований температурного поля в горной выработке угольной шахты в окрестности очага пожара. Установлено, что если за очагом пожара температура почти не зависит от коэффициента температуропроводности, то перед очагом пожара длина температурного «шлейфа» существенно от него зависит. Представлена зависимость распределения относительных температур перед и за очагом пожара в горной выработке угольной шахты. По предложенной методике представляется возможным находить распределение температур по всей длине горной выработки с очагом пожара. Приведены дальнейшие перспективные направления теоретических и экспериментальных исследований нестационарного распределения пожарных газов по длине и сечению горных выработок угольных шахт при авариях.

**Ключевые слова:** угольная шахта; аварийно-спасательные работы; подземный пожар; температурное поле

## Investigation of the temperature field in mine working in the vicinity of a seat of fire during emergency rescue operations in coal mines

*Agarkov A.V.*

*The «Respirator» State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters*

### **Abstract:**

The relevance of monitoring and control of the mine environment during elimination of fires at the mining enterprises has been presented. The investigation results of the temperature field in the mine working of the coal mine in the vicinity of the seat of fire have been presented. It has been established that if the temperature behind the seat of fire does not depend much on the temperature diffusivity coefficient, then the length of the temperature «plume» before the seat of fire substantially depends on it. The dependence of the distribution of relative temperatures in front of and behind the seat of fire in the mine working of a coal mine has been presented. According to the proposed methodology it is possible to find the distribution of temperatures along the entire length of the mine working with a seat of fire. The further promising areas of theoretical and experimental studies of the unsteady distribution of fire gases along the length and cross section of the mine workings of coal mines during the accidents have been adduced.

**Key words:** coal mine; emergency rescue operations; underground fire; temperature field

Одним из приоритетных направлений экономического и социального развития многих горнодобывающих стран и государств предусматривается дальнейшее развитие угольной отрасли, которая является залогом энергетической и государственной безопасности, гарантом бесперебойной и эффективной работы металлургической, коксохимической и других отраслей промышленности [1]. Однако значительным препятствием на пути к достижению поставленных целей, высоких показателей угледобычи, а также к повышению уровня промышленной безопасности являются подземные пожары, при ликвидации которых возникают условия, опасные для жизни и здоровья горноспасателей [2].

Особенно опасны пожары в газообильных шахтах, так как их тушение сопряжено с высокой вероятностью взрыва газозвушной смеси из-за возможных ее скоплений в районе действующего пожара до взрывоопасных концентраций [3]. Поэтому при ведении аварийно-спасательных работ необходимо проводить дистанционный мониторинг и контроль шахтной среды (газовая обстановка, температура и пр.) в аварийном участке и в прилегающих к нему горных выработках в течение всего периода ликвидации пожара с безопасного расстояния. Данное условие является одним из основных, позволяющих обеспечить безопасность ведения аварийно-спасательных работ, особенно при изоляции пожарного участка.

Анализ шахтной среды дает возможность определить стадию и степень развития пожара или его затухания, вероятность взрыва газозвушной смеси, установить границы заполнения пожарным газом горных выработок для выбора месторасположения подземных баз и определения зон работы горноспасателей без изолирующих дыхательных аппаратов, а также выполнить оценку эффективности принятых мер по провериванию и инертизации аварийного, в том числе изолированного пожарного, участка и прочее [4].

Разработке методов и технических средств мониторинга и контроля шахтной среды посвящены научные труды ведущих ученых и инженеров: Агеева В.Г., Грекова С.П., Зинченко И.Н., Ковальчука В.И., Романчука А.Л., Сергеева В.С., Сурначева Б.А., Федоровича А.П., Adler D., Burns F., Chapman D., Ciepiela B., Fauconnier C., Fink Z., Golisz T., Kukuczka A., Marchewka W., Mitchell D., Morris R., Zipf R. и других [5]. В 2020 году научно-исследовательским отделом аварийно-спасательных технологий Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики разработана усовершенствованная система дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах (рис. 1) [6], которая позволяет выполнять мониторинг и контроль газовой обстановки в изолированных и неизолированных пожарных участках угольных шахт.

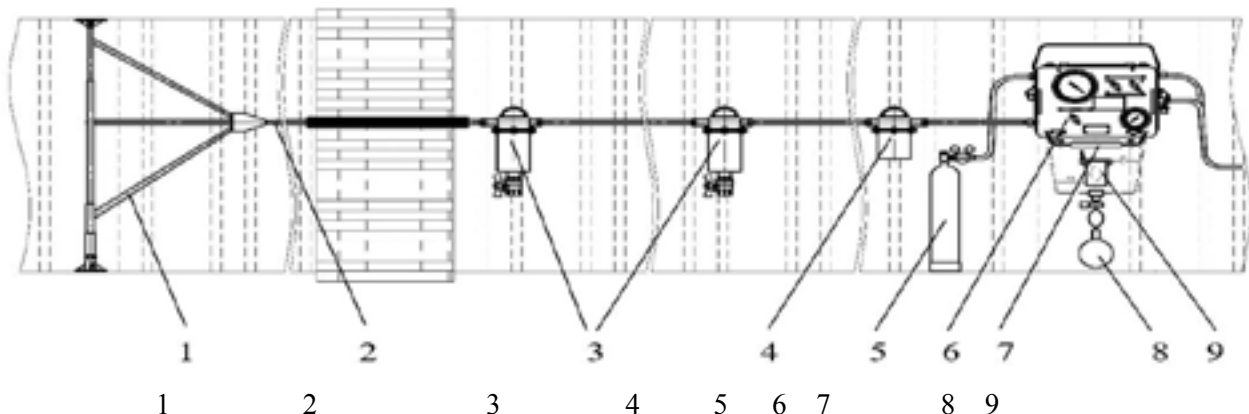


Рис. 1. Рабочий комплект усовершенствованной системы дистанционного отбора и экспресс-анализа проб пожарных газов при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах [7]:

- 1 – многоточечный пробоотборник; 2 – пробоотборный трубопровод; 3 – фильтры-лагоотделители; 4 – фильтр-осушитель;
- 5 – баллон (с редуктором) со сжатым воздухом; 6 – эжекторная установка; 7 – емкость для отбора проб пожарных газов;
- 8 – приспособление для набора проб пожарных газов в камеру без буферного резервуара (пробонаборного устройства);
- 9 – буферный резервуар для набора проб пожарных газов в камеру (пробонаборное устройство)

Однако помимо мониторинга и контроля газовой обстановки при ликвидации пожара в угольных шахтах,

необходимо также выполнять оценку температурного поля в горных выработках в окрестности очага пожара.

Поэтому актуальным направлением и целью настоящей статьи является исследование температурного поля в горной выработке в окрестности очага пожара при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах.

Настоящая работа имеет непосредственное отношение к научному направлению научно-исследовательского отдела аварийно-спасательных технологий и выполнена в соответствии с Индивидуальным планом аспиранта в рамках выполнения научно-исследовательской работы, предусмотренной Планами работы Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики на 2018-2020 гг., утвержденными Министром.

Рассмотрим квазистационарный режим горения, когда можно пренебречь изменениями во времени, и изучить, как распределяется средняя по сечению горной выработки температура не только в очаге пожара, но и за её пределами. В этом случае используем уравнение, аналогичное уравнению нестационарной конвективной диффузии газов в виде (1) [8]

$$u \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

которое при стационарном переносе тепла вдоль горной выработки примет вид (2) [8; 9]

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( a \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( a \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q \quad (2)$$

где  $T$  – температура в горной выработке, К;

$a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$q$  – плотность источника выделения тепла, К/с.

Рассмотрим случай пожара с одним направлением движения и представим уравнение (2) в виде (3)

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( a \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( a \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q \quad (3)$$

Представим в конечных разностях производные в правой части и приведём уравнение (3) к виду (4)

$$u \frac{dT}{dx} = \frac{d}{dx} \left( a \frac{dT}{dx} \right) + \alpha(T_0 - T) + q \quad (4)$$

где  $\alpha$  – удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки, 1/с;

$T_0$  – температура при нормальных условиях, К.

Здесь источник тепловыделения задаётся только в зоне горения и зависит от  $x$ :

$$q(x) = q_0, \text{ если } x_1 < x < x_2 \quad (5)$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – начало и конец зоны горения, м.

За пределами зоны горения источник тепловыделения равен нулю.

Примем в уравнении (4) за константу  $a = \text{const}$ . Тогда получим

$$u \frac{dT}{dx} = a \frac{d^2 T}{dx^2} + \alpha(T_0 - T) + q \quad (6)$$

Характеристическое уравнение для поиска показателей степени у экспонент, эквивалентное уравнению

(6) без источника, представим в виде (7)

$$m^2 - \frac{u}{a}m - \frac{\bar{a}}{a} = 0 \quad (7)$$

Его корни равны

$$m_{1,2} = \frac{u_0}{2a} \pm \sqrt{\left(\frac{u_0}{2a}\right)^2 + \frac{\bar{a}}{a}} = 0 \quad (8)$$

Таким образом, решение уравнения (6) за пределами зоны горения будет иметь вид

$$T(x) = T_0 + A_1 \exp(m_1 x) + A_2 \exp(m_2 x) \quad (9)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – константы интегрирования.

Так как температура по всей длине зоны горения принята одинаковой, то  $A_1 = A_2 = T_1$ . Здесь  $T_1$  – температура в зоне горения.

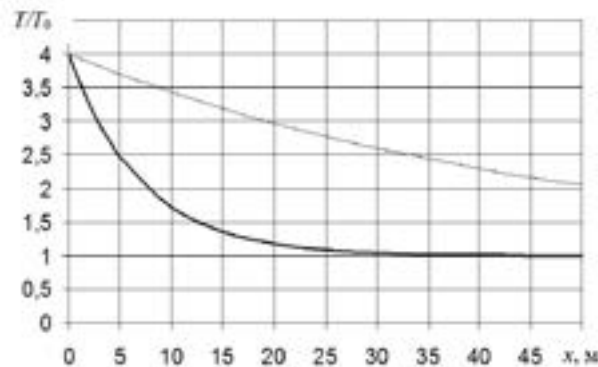


Рис. 2. Распределение относительных температур перед (жирная линия) и за (тонкая линия) очагом пожара

Расчёты проводились по формулам (10) и (11). Как видно из рис. 2, температура по потоку в 50 м от очага пожара составляет 342 °С, т.е. третью часть от максимальной.

Длина температурного шлейфа против потока сравнивалась с данными, полученными ранее кандидатом технических наук И.Н. Зинченко [10], когда длина шлейфа доходила до 30 м при скорости движения воздуха 1 м/с и коэффициенте температуропроводности  $a = 4 \text{ м}^2/\text{с}$  за счёт лучистого теплообмена. В этом месте средняя по сечению температура по данным расчёта достигает 40 °С при нормальной температуре 27 °С.

Об этом говорят и другие данные в работе кандидата технических наук И.Н. Зинченко [10], когда при скорости 0,6 м/с в опытной штольне, сечением 4 м<sup>2</sup>, дым и температура были такими, что из штольни пришлось уйти. Это касается только средней по сечению выработки температуры. Сам же шлейф газов во встречном потоке газов под кровлей должен иметь ещё большую температуру.

Таким образом, в настоящей работе выполнено исследование температурного поля в горной выработке в окрестности очага пожара при ведении аварийно-спасательных работ в угольных шахтах. Установлено, что если за очагом пожара температура почти не зависит от коэффициента температуропроводности, то перед очагом пожара длина температурного «шлейфа» существенно от него зависит. Представлена зависимость распределения относительных температур перед и за очагом пожара в горной выработке угольной шахты. По предложенной методике представляется возможным находить распределение температур по всей длине горной выработки с очагом пожара.

Разработанная методика позволит повысить достоверность мониторинга и контроля шахтной среды, безопасность ведения аварийно-спасательных работ по ликвидации пожаров в шахтах и получить социальный эффект.

В дальнейшем планируется выполнить теоретические исследования нестационарного распределения по-

жарных газов по длине и сечению горных выработок угольных шахт при авариях (выполнить моделирование переноса тепла и влаги в горных выработках, исследовать слоевые и местные скопления метана и других газов). В условиях учебно-тренировочного полигона подземного типа планируется провести экспериментальные исследования по дистанционному контролю шахтной среды при ликвидации условного пожара.

### Литература

1. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Мировые тенденции развития угольной отрасли // Журнал «Горная Промышленность». 2019. № 1 (143). С. 24-29.
2. Федоренко Е.И., Кобылкин С.С. Проблема подземных пожаров и их тушение на больших глубинах в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 8. С. 197-207.
3. Agarkov A. Analysis of the emergency at the mining enterprises and evaluation of the method of remote selection of samples of mine air when conducting mine-rescue work // Научный журнал «Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования». 2019. № 2 (3). С. 10-20.
4. Соболев Г.Г. Организация и ведение горноспасательных работ в шахтах: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988. 280 с.
5. Мамаев В.В., Агарков А.В. Способы и технические средства дистанционного контроля шахтной среды при ведении аварийно-спасательных работ // Научный журнал «**Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования**». 2019. № 3 (4). С. 109-119.
6. Курбацкий Е.В., Агарков А.В. Совершенствование способа дистанционного контроля шахтной среды в изолированных пожарных участках при ведении аварийно-спасательных работ // Научно-технический сборник «Донбасс будущего глазами молодых ученых». 2019. С. 93-97.
7. Агарков А.В. Об исходных требованиях к усовершенствованной системе дистанционного отбора проб шахтного воздуха при ведении аварийно-спасательных работ // Научный журнал «**Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования**». 2020. № 2 (6). С. 15-23.
8. Пузач С.В. Математическое моделирование газодинамики и тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. 149 с.
9. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло-и массообмена. М.: Наука, 1984. 288 с.
10. Зинченко И.Н. Численное моделирование распространения тепла или газа по горным выработкам при их внезапных выделениях // Сборник научных трудов «Горноспасательное дело». 1993. С. 60-65.