



I ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.001

УДК 398.315:622.33

© А.С. Голик, В.Б. Попов, А.В. Сачков, К.К. Махмудова, 2019

А.С. ГОЛИК

д-р. техн. наук, профессор,
академик АГН, МАНЭБ,
научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: kemmaneb@rambler.ru



В.Б. ПОПОВ

д-р. техн. наук, акад. МАНЭБ,
научный консультант
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: 1860pwb@mail.ru



А.В. САЧКОВ

горный инженер,
начальник проектного отдела
АО «НИИГД», г. Кемерово
e-mail: 3842640840@mail.ru



К.К. МАХМУДОВА

студент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: kamila.mahmudova111@mail.ru



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛОИДУГЛЕВОДОРОДА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ

Возникновение пожаров в метанообильных тупиковых выработках, как правило, сопряжено с постоянной потенциальной опасностью взрывов газозвушных смесей при открытом устье выработки или при изоляции тупика. Тушение пожара здесь значительно сложнее, так как подход к очагу пожара возможен только с одной стороны – навстречу исходящим горячим пожарным газам. Практически редко удается проникнуть к очагу в тупиковой выработке и непосредственно воздействовать огнегасительными средствами. Поэтому проблема дистанционного тушения пожаров в тупиковых выработках является весьма актуальной. Для тушения подземных пожаров применяются галогидуглеводороды бромистый этил, фреон 114В2

(тетрафтордифторэтан) и их смеси. Дистанционно в очаг пожара в тупиковой выработке фреон 114В2, наименее токсичный галоидуглеводород, возможно подавать в спутном потоке воздуха по вентиляционному трубопроводу.

Ключевые слова: ТУПИКОВАЯ ВЫРАБОТКА, ПОЖАР, ФРЕОН 114В2, СПУТНЫЙ ПОТОК, ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ ТРУБОПРОВОД, ДИСПЕРГИРОВАННАЯ СРЕДА.

Пожар в шахте значительно опаснее, чем в зданиях и сооружениях на поверхности уже потому, что теплота, дым и токсические пожарные газы не могут рассеиваться, а часто распространяются по многокилометровой сети горных выработок, угрожая жизни горнорабочих. Возникновение пожаров в метанообильных тупиковых выработках, как правило, сопряжено с постоянной потенциальной опасностью взрывов газоздушных смесей при открытом устье выработки или при изоляции тупика. Тушение пожаров здесь значительно сложнее, так как подход к очагу пожара возможен только с одной стороны – навстречу исходящим горячим пожарным газам.

Редко удается проникнуть к очагу пожара в тупиковой выработке и непосредственно воздействовать огнегасительными средствами. Поэтому проблема дистанционного тушения пожаров в тупиковых выработках является весьма актуальной.

В последние годы для тушения подземных пожаров успешно применяются бромистый этил, фреон 114В2 (тетрафтордифторэтан) и их смеси. Практически нетоксичным является фреон 114В2 – его предельная допустимая концентрация равна 7 мг/л. Минимальная концентрация паров фреона, достаточная для предотвращения взрыва метановоздушной смеси во всем диапазоне его взрываемости, по данным С. Н. Осипова [1], равна 2,7 % объемных. Однако после каждого случая применения фреона 114В2 горная выработка должна быть тщательно проветрена в течение 30 мин. Дистанционно в очаг пожара в тупиковой выработке фреон возможно подавать в спутном потоке воздуха по вентиляционному трубопроводу. При этом возможны два способа:

а) предварительным испарением фреона подачей его в поток движущегося в вентиляционном трубопроводе воздуха;

б) распылением жидкого фреона форсун-

ками и подачей мелкодисперсной среды в поток воздуха.

Второй способ более экономичен, так как не требует дополнительных устройств и энергетических затрат на испарение фреона 114В2 и более отвечает требованиям безопасности в газообильных шахтах.

Транспортирование диспергированного фреона к месту очага пожара основывается на теории двухфазных течений и переноса дисперсных систем. Движение частиц определенной крупности под воздействием потока возможно лишь при определенных скоростях потока и существенно зависит от крупности частиц.

При этом основными безразмерными параметрами, характеризующими движение частицы фреона, являются:

$$Re = \frac{U_{от} d_T}{\gamma} \text{ и } \varphi = \frac{V_T}{U}; \quad (1)$$

где $U_{от}$ – относительная скорость частицы,

$$U_{от} = U - U_T;$$

d_T – диаметр частицы;

γ – кинематическая вязкость сплошной среды, в которой происходит движение;

V_T – абсолютная скорость частицы;

U – абсолютная скорость потока;

Re – число Рейнольдса;

φ – безразмерная величина.

Движение частиц определенной величины в потоке и определение минимальной скорости, необходимой для транспортирования, изучались многими исследователями, однако общей точки зрения и соотношений для минимальной скорости транспортирования частицы до настоящего времени не установлено. Этот вопрос исследован лишь для определенного класса аэрозолей, пылевидных частиц, а также в определенных интервалах Re .

Исследования [2, 3, 4, 5] позволяют заключить следующее:

- частицы диаметром $d \leq 2$ мк ведут себя как

броуновские, и на них оказывают влияние турбулентные пульсации;

- частицы диаметром $d \leq 7,7$ мк увлекаются потоком практически любой скорости;
- частицы диаметром $d = 105$ мк увлекаются потоком со скоростью более 14 м/с;
- для частиц диаметром $d > 100$ мк влияние турбулентных пульсаций на движение несущественно;
- скорость транспортирования частиц тем сильнее отличается от скорости потока, чем больше величина частицы. Например, для $d = 105$ мк $\varphi = 0,94$.

При выборе оптимального диаметра частицы для транспортирования в спутном потоке необходимо принимать во внимание причины осаждения частицы вдоль трубопровода. Осаждение частиц может происходить по причине гравитационного выпадения, коагуляции, адгезии.

Изучение причин осаждения частиц позволило установить, что наиболее транспортабельными являются частицы диаметром $2 < d < 10$ мк [4, 6, 7].

Получение частиц, необходимых для транспортирования, возможно пневматическим или аэродинамическим распылением. Для этих способов характерно получение капель широкого диапазона их размеров. Для расчета среднего размера капли при ее дроблении широко применяется эмпирическая формула:

$$d = \frac{585}{U_{от}} \left(\frac{\sigma_{\phi}}{\rho_{\phi}} \right)^2 + 597 \left(\frac{\mu_{\phi}}{\sigma_{\phi} \rho_{\phi}} \right)^{0,225} \left(\frac{10^3 Q_{\phi}}{Q_B} \right)^{1,5}, \quad (2)$$

где $U_{от}$ – относительная скорость частицы;

σ_{ϕ} – коэффициент поверхностного натяжения фреона;

ρ_{ϕ} – плотность фреона;

Q_{ϕ} – расход фреона;

Q_B – расход воздуха;

μ_{ϕ} – динамическая вязкость фреона.

Однако на практике размер капли фреона точно не может быть рассчитан, так как процесс распыливания зависит от многих нерегулируемых переменных величин, таких, как степень турбулентности потока, шероховатости трубопровода, степени засорения сопла.

Динамика двухфазного потока при транспортировании фреона (система фреон – воздух) сложна и существенно зависит от соотношения фаз. Если концентрация паров и частиц фреона велика, то для переноса необходимы большие скорости спутного потока воздуха, иначе возможны осаждения частиц на стенках трубопровода. При изучении движения частиц фреона большой концентрации возможно использовать гидродинамический подход с соответствующим изменением уравнений движения.

При тушении пожаров концентрация фреона в воздухе незначительная (около 3 % об.), поэтому влияние частиц фреона друг на друга будет малым. Для упрощения задачи эффект коагуляции нами не рассматривается. При решении вопроса о движении частиц фреона нужно ввести два критических параметра:

а) если частица фреона диаметром d полностью уносится потоком воздуха, то $U \geq V_K$, где V_K – минимальная скорость, необходимая для транспортирования частицы;

б) при своем движении частицы фреона испаряются, но, как указано в работах Фукса [6, 7], испарение возможно до определенного диаметра d_K . Процесс испарения подчинен в основном закону Ленгмюра, однако при испарении частицы до диаметра d_K возможны существенные отклонения от этого закона, которыми можно пренебречь при оценке качественной стороны явления.

Изменение массы частицы предполагается по закономерности, представленной на рис. 1.

Нами рассматривается стационарный поток частиц, поэтому уравнение движения фреоновой частицы будет следующим:

$$m \cdot \frac{dV_{от}}{dt} = mg - F_C, \quad (3)$$

где m – масса частицы;

$V_{от}$ – относительная скорость частицы;

F_C – сила сопротивления движению частицы.

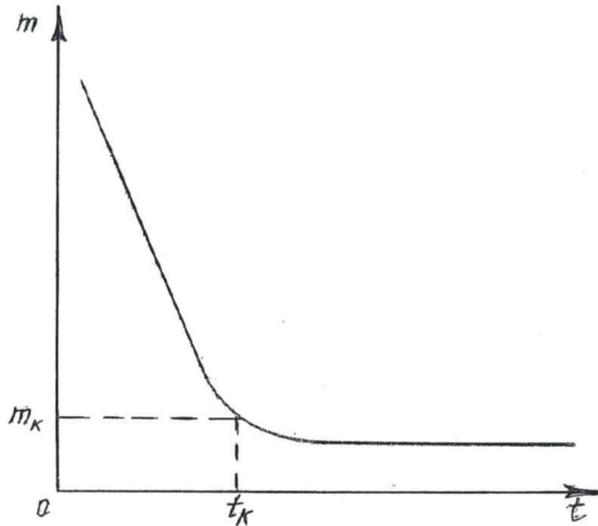


Рис. 1. Изменение массы частицы по закону Ленгмюра

В потоке движения частиц диаметром $d = 0,01-1,0$ мк происходит постепенный переход к условиям, когда сила сопротивления становится пропорциональной относительной скорости частицы в потоке. Это соответствует интервалу $0 < Rc < 0,5$. При этом сила сопротивления выражается по закону Стокса:

$$F_c = 3\pi\mu_b V_{от} d, \quad (4)$$

где μ_b – динамическая вязкость воздуха.

Учитывая соотношение между массой и диаметром частицы $m = \rho_\phi \frac{\pi d^3}{6}$, горизонтальное движение частицы можно представить уравнением

$$\frac{dV_{от}}{dt} = -3\pi\mu_b V_{от} \left(\frac{6}{\rho_\phi \pi}\right)^{\frac{1}{3}} m^{-\frac{2}{3}}. \quad (5)$$

Согласно закону Ленгмюра

$$\frac{dm}{dt} = -2\pi D m_2 C_0 d, \quad (6)$$

где D – коэффициент диффузии паров фреона; m_2 – масса диффундирующих молекул пара; C_0 – концентрация насыщенного пара (в молекулах на 1 см^2).

Интегрируя формулу (6), получим:

$$m^{\frac{2}{3}} = m_0^{\frac{2}{3}} - \frac{2}{3} at, \quad (7)$$

где m_0 – масса частицы в момент времени $t = 0$;

$$a = 2\pi D m_2 C_0 \left(\frac{6}{\rho_\phi \pi}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (8)$$

На уравнение (7) нужно наложить ограничения:

$$m \geq m_k; \quad t \leq t_k, \quad (9)$$

где $m_k = \rho_\phi \frac{\pi d_k^3}{6}$ – критическая масса частицы, до которой она испаряется;

t_k – время, за которое частица испаряется, т. е. выполняется закон Ленгмюра.

Решая совместно уравнения (5), (7) и учитывая формулу (9), получим два решения:

$$V_{от} = U \left(1 - \frac{2at}{3m_0^{\frac{2}{3}}}\right)^{\frac{3b}{2a}} \quad (10)$$

при $t < t_k$;

$$V_{от} = (U - V_k) \exp\left[-\frac{a(t-t_k)}{m_0^{\frac{2}{3}} - \frac{2}{3}at_k}\right], \quad (11)$$

при $t > t_k$,

$$\text{где } V_k = U \left[1 - \left(1 - \frac{2at_k}{3m_0^{\frac{2}{3}}}\right)^{\frac{3b}{2a}}\right]. \quad (12)$$

V_k – критическая скорость, которую приобретает частица, прекратив свое испарение.

$$b = 3\pi\mu_b \left(\frac{6}{\rho_\phi \pi}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (13)$$

Переходя от относительной скорости частицы к абсолютной в (10) и (11), получим:

$$V_T = U \left[1 - \left(1 - \frac{2at}{3m_0^{\frac{2}{3}}}\right)^{\frac{3b}{2a}}\right], \quad (14)$$

а при $t < t_k$

$$V_T = U - (U - V_k) \exp\left[-\frac{a(t-t_k)}{m_0^{\frac{2}{3}} - \frac{2}{3}at_k}\right]. \quad (15)$$

Исследовав уравнения (14) и (15), представляется возможным сделать следующие выводы.

Сложность тушения пожаров в забоях тупиковых подготовительных выработок обусловливается тем, что высокая температура исходящей вентиляционной струи не дает возможности непосредственно воздействовать на очаг пожара активными средствами тушения. Высокая метанообильность выработок постоянно угрожает взрывом. Горноспасатели не могут контролировать изменение концентрации метана в зоне очага.

Единственной возможностью тушения пожара в тупиковой метаноопасной выработке является дистанционное воздействие на очаг пожара огнегасительными средствами, а именно фреоном 114В2, доставляя его в очаг пожаров в спутном потоке по вентиляционному воздухопроводу.

При распылении жидкого фреона форсунками и подачей мелкодисперсной среды в поток воздуха для передвижения капли фреона в спутном потоке необходимо обеспечить ее скорость, которая бы удовлетворяла неравенству $V_T < V_K$, где V_T – относительная скорость частицы фреона, а V_K – критическая скорость, которую приобретает частица, пре-

кратив свое существование.

Зная время t_K , за которое частица фреона испарится, находится критическая скорость V_K , которую приобретает частица, прекратив свое испарение, а по критической скорости V_K находится расстояние, на котором прекращается испарение капель фреона $L_K = V_K \cdot t_K$.

При невозможности дистанционного тушения пожара в тупиковой выработке горноспасатели вынуждены возводить изолирующие взрывоустойчивые перемычки за двумя-тремя поворотами действующих выработок. При этом изоляции зачастую подвергается большое количество выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов С.Н. Борьба со взрывами газа в горных выработках. М.: «Недра», 1972.
2. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. М.: «Недра», 1970.
3. Зайончковский Я. Обеспыливание в промышленности. М.; Изд-во литературы по строительству, 1969.
4. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли, пыли, дымы и туманы. Л.: «Химия», 1969.
5. Гендельман Я.М. Метод определения предельных значений скорости и разгонного пути частиц в сдувоотсасывающих аппаратах // Сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». Киев, 1974.
6. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд. АН СССР, 1955.
7. Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей. М.: Изд. АН СССР, 1961
8. Горбис З.Р. Теплообмен и гидродинамика дисперсных сквозных потоков. М.: «Энергия», 1970.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.001

UDC 398.315:622.33

© A.S. Golik, V.B. Popov, A.V. Sachkov, K.K. Makhmudova, 2019

A.S. GOLIK

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Academician of AGN, MANEB,
Scientific consultant
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: kemmaneb@rambler.ru

V.B. POPOV

Doctor of Engineering Sciences,
Academician of AGN, MANEB,
Scientific consultant
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: 1860pwb@mail.ru

A.V. SACHKOV

Mining Engineer,
Head of Project Department
JSC «NIIGD», Kemerovo
e-mail: 3842640840@mail.ru

K.K. MAKHMUDOVA

student
KuzGTU, Kemerovo
e-mail: kamila.mahmudova111@mail.ru

THE USE OF GLOEOPLEUROUS FOR REMOTE FIRE FIGHTING IN DEAD-END MINES

As a rule, the occurrence of fires in methane-rich dead-ends is associated with a constant potential danger of explosions of gas-air mixtures at the open mouth of the mine or at the insulation of the Tuzpeak. Extinguishing the fire is much more difficult, since the approach to the fire is possible only from one side – towards the outgoing hot-hot gases. Almost rarely it is possible to penetrate to the hearth in a dead-end development and directly affect the fire extinguishing agents. Therefore, the problem of remote fire extinguishing in dead-end workings is very urgent. To extinguish underground fires used halocarbons ethyl bromide, freon 114B2 (Tetra ortho di-bromatan) and mixtures thereof. Distantly, the fire in a dead-end development of freon 114B2, the least toxic galoiduglyerodov may serve in concurrent flow of air through the ventilation duct.

Keywords: DEAD-END DEVELOPMENT, FIRE, FREON 114B2, COCURRENT FLOW, VENT PIPE, DISPERSED ENVIRONMENT.

REFERENCES

1. Osipov S.N. Fighting gas explosions in mine workings. M.: «Nedra», 1972. (In Russ.)
2. Smoldyrev A.E. Pipeline transport. M.: «Nedra», 1970. (In Russ.)
3. Zayonchkovsky I. Dust removal in industry. M. Publishing house of literature on construction, 1969. (In Russ.)
4. Grin KH., Leyn V. Sprays, dust, smoke and fog. L.: «Chemistry», 1969. (In Russ.)
5. Gendelman Y.M. Method of determining limiting values of speed and accelerating path of particles in a blow-out apparatus // Sbornik «Razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh» [Collection «Development of mineral deposits»]. Kiev, 1974. (In Russ.)
6. Fuks N.A. Mechanics of aerosols. M.: Ed. Academy of Sciences of the USSR, 1955. (In Russ.)
7. Fuks N.A. Advances in aerosol mechanics. M.: Ed. USSR Academy of Sciences, 1961. (In Russ.)
8. Gorbis Z.R. Heat transfer and hydrodynamics of dispersed through flows. M.: «Energy», 1970. (In Russ.)