

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Стахановский инженерно-педагогический институт менеджмента
Кафедра технологии производства и охраны труда

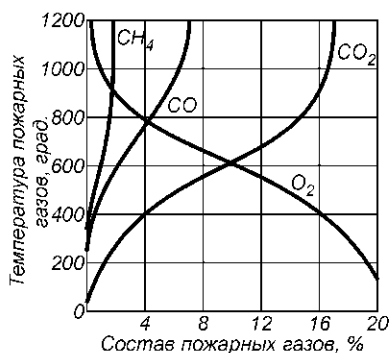
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам

по дисциплине

«ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА»

для студентов направления подготовки
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)



УДК 661.61(62), 622.81(82)

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом
ГОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»
(протокол № ___ от _____ 2021 г.)*

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине **«Теория горения и взрыва»** для студентов направления подготовки 44.03.04 **Профессиональное обучение (по отраслям)**. / Сост.: В.И. Сафонов. – **Стаханов**: ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2021. – 41 с.

Приведены методика проведения лабораторных работ по дисциплине «Теория горения и взрыва», цель, общие сведения, порядок проведения, методические рекомендации, контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы.

Методические указания предназначены для студентов профиля «Безопасность технологических процессов и производств», «Горное дело. Подземная разработка пластовых месторождений», «Горное дело. Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Составитель: доц. Сафонов В.И.

Ответственный за выпуск: доц. Сафонов В.И.

Рецензент: доц. Петров А.Г.

© Сафонов В.И., 2021

© ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2021

Содержание

Лабораторная работа 1. Изучение состава минеральных примесей и реакций озоления твердого топлива	4
Вопросы для самопроверки.....	6
Лабораторная работа 2. Определение времени полного развития пожара в горной выработке, закрепленной деревянной крепью при различных показателях влажности крепи.....	7
Вопросы для самопроверки.....	11
Лабораторная работа 3. Определение изменения температуры пожарных газов при подземном пожаре в горной выработке, закрепленной деревянной крепью.....	11
Вопросы для самопроверки.....	16
Лабораторная работа 4. Определение концентрации углеродсодержащих газов от температуры очага горения.....	16
Вопросы для самопроверки.....	23
Лабораторная работа 5. Организация контроля над ранними признаками самовозгорания угля	24
Вопросы для самопроверки.....	29
Лабораторная работа 6. Определение способности к взрыву смеси горючих газов	30
Вопросы для самопроверки.....	35
Лабораторная работа 7. Определение взрываемости метано-воздушной смеси.....	35
Вопросы для самопроверки.....	40
Литература.....	41

Лабораторная работа 1.

Изучение состава минеральных примесей и реакций озоления твердого топлива

Цель работы:

- использовать теоретические знания для анализа состава минеральных примесей;
- в зависимости от интервала температур подземного пожара составить химические реакции окисления.

Присутствие в твердых топливах минеральных компонентов обусловлено следующими причинами:

1. Наличие минеральных органических веществ в исходном органическом материале, из которого образовалось топливо. Количество примесей такого происхождения (солей) невелико – до 0,5 % сухой массы топлива. Их называют первичными примесями.

2. Накопление в залежи вместе с органическим материалом минеральных веществ, заносимых водой и ветром и образующихся в результате жизнедеятельности бактерий. Вместе с первичными примесями их называют внутренними примесями.

3. Попадание в топливо минералов из окружающих горных пород при разработке месторождения. Доля их зависит от геологии пласта и способа его разработки. С увеличением механизации добычи эта доля минеральных примесей значительно возрастает.

Примеси твердого топлива образованы большим числом различных минеральных веществ, главными из которых обычно являются алюмосиликаты ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), кремнезем (SiO_2), карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3), сульфиды (FeS_2 , CaS), сульфаты (CaSO_4 , MgSO_4), соли щелочных металлов (NaCl , KCl). Помимо перечисленных основных компонентов в минеральных примесях твердого топлива присутствуют часто в повышенных концентрациях соединения многих редких элементов: платины, палладия, никеля, кобальта, германия, урана и др.

При сжигании топлива многие компоненты его минеральных примесей подвергаются химическим преобразованиям, при которых масса и состав образующейся золы всегда отличаются от массы и состава исходных минеральных примесей топлива.

Зольность угля – это масса золы, определяемая в установленных условиях, отнесенная к единице массы угля и выраженная в процентах. Стандартный метод определения зольности углей (ГОСТ 11022-75, СТ СЭВ 1461-78) заключается в полном сжигании навески топлива. Таким образом, быстрый рост концентрации ядовитых и удушающих газов в атмосфере пожарного участка представляет большую опасность для жиз-

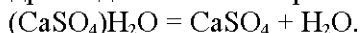
ни горнорабочих.

Порядок выполнения работы

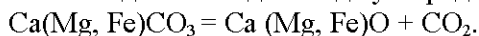
1. Ознакомиться с факторами, влияющими на состав минерального остатка угля и зольности;

2. Составить химические реакции окисления по интервалам температур.

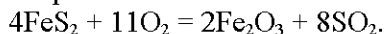
– При температуре выше 500 °С протекают реакции дегидратации, т.е. удаление гидратной влаги из гипса, алюмосиликатов (глин), оксидов и гидроксидов железа с образованием Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 и H_2O :



– В интервале температур 500...900 °С происходит разложение карбонатов с выделением диоксида углерода:



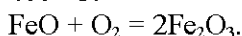
– При 400...500 °С начинается окисление дисульфидов железа:



– Разложение сульфата железа протекает при 850...950 °С:

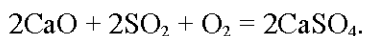


– Окисление соединений Fe^{+2} до Fe^{+3} начинается при температуре более 400 °С:



– Улетучивание хлоридов и соединений щелочных металлов происходит при температуре выше 500 °С.

– Образование сульфата кальция происходит в интервале температур 700...1000 °С:



Эта реакция протекает по мере выделения SO_2 при сгорании органической серы и окислении дисульфида железа, а также разложения карбонатов, содержащихся в минеральной массе углей. Именно благодаря протеканию этой реакции возможно эффективное связывание оксидов серы в топках с низкотемпературным кипящим слоем. При температуре выше 1000 °С начинается диссоциация сульфатов.

При рассмотрении реакций, происходящих с минеральными примесями топлив, можно сделать следующие общие выводы:

1. В процессе сжигания углей химический состав минеральной массы значительно изменяется, поэтому масса и состав золы никогда не равны массе и составу минеральных веществ угля.

2. Среди реакций, протекающих в минеральной массе при озолении углей, преобладают реакции разложения, поэтому зольность угля почти всегда получается несколько меньше, чем содержание минеральной массы.

3. Каждая из приведенных реакций протекает на определенных стадиях озоления угля и в определенном интервале температур. В соответствии с этим масса и состав золы, полученной при озолении одного и того же угля, при разных температурах (800 и 1500 °С) будут значительно отличаться друг от друга.

Следовательно, зольность угля – понятие в известной мере условное, так как масса и состав золы зависят в основном от условий озоления топлива и, прежде всего, от скорости озоления и конечной температуры прокаливания.

Вопросы для самопроверки

1. Какие ядовитые и удушливые газы образуются при подземных пожарах и взрывах метановоздушных смесей и угольной пыли?
2. Опишите закономерности изменения концентраций различных газов при развитии подземного пожара.
3. Какие химические процессы характерны при взаимодействии кислорода и углерода, (озоления), прокаливании зольного остатка до постоянной массы при (815±15) °С и определении массы образовавшейся золы?
4. Какие вещества образуют минеральный состав угля?
5. Что определяет зольность угля при его горении?
6. Почему масса и состав золы не равна массе и составу минеральных веществ угля?
7. Опишите реакции дегидратации, разложения и окисления при сжигании угля.
8. Какие причины обуславливают наличие минеральных примесей в угле?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Таблица 1.1 – Исходные данные для самостоятельной работы (к лабораторным работам 1, 2 и 3)

№ п/п	V , м/с	$W_1\%$	$W_2\%$	$W_3\%$	Участки пожаров L_1 и L_2 протяженностью, м	Время от начала/конца пожара, $\Delta t_1 / \Delta t_2$	Температура пожарных газов $\Delta t_1^\circ / \Delta t_2^\circ$
1	1,0	13	26	35	10; 20	22/47	420/1050
2	1,0	10	18	30	20; 40	35/54	400/1100
3	1,5	10	15	30	30; 40	35/54	450/1100
4	1,5	5	15	20	40; 50	22/60	500/1000

5	1,5	13	20	35	10; 40	15/60	700/1000
6	1,8	5	15	20	20; 60	35/47	600/1100
7	2,0	10	15	25	30; 40	54/60	500/1000
8	2,0	10	18	30	40; 50	47/54	600/1200
9	1,9	10	15	30	50; 60	15/60	500/1200
10	1,5	5	15	30	10; 50	22/60	600/1200
11	1,5	10	15	25	20; 50	22/60	500/1000
12	1,5	5	18	30	30; 45	54/60	450/1000
13	2,0	5	18	25	40; 60	35/54	600/1000
14	3,0	13	20	35	10; 55	35/54	500/1000
15	3,0	10	20	30	20; 40	54/60	450/1200
16	1,0	15	20	35	30; 60	47/54	600/1000
17	1,5	15	20	35	40; 50	15/60	450/1000
18	1,8	15	20	35	50; 60	22/60	500/1200
19	2,0	10	24,6	35	10; 50	35/47	500/1100
20	2,0	15	20	35	20; 50	35/60	600/1000

Лабораторная работа 2.

Определение времени полного развития пожара в горной выработке, закрепленной деревянной крепью при различных показателях влажности крепи

Цель работы:

- использовать теоретические знания для критического анализа факторов, определяющих интенсивность горения шахтной крепи;
- приобрести умения и навыки определения времени полного развития пожара в зависимости от влажности деревянной крепи и скорости проветривания пожарного участка;
- умение анализировать изменение температуры пожарных газов при подземном пожаре в выработке, закрепленной деревянной крепью.

Установленная по экспериментальным данным зависимость между температурой очага пожара и концентрацией углеродсодержащих газов в

период разгорания пожара выражается формулой

$$t = 758 \left(\ln \frac{30}{30 - \sum c} \right)^{0,4}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

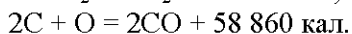
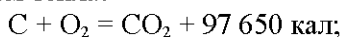
где $\sum c = \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$ – суммарная концентрация углеродсодержащих газов, %.

Таким образом, в условиях бурного развития пожара в выработках с деревянной крепью, при котором в течение 1...2 час. температура в очаге достигает максимального значения, быстрый рост концентрации газов в исходящей вентиляционной струе представляет большую опасность для жизни людей.

Наиболее часто причиной загазирования горных выработок является подземный пожар. При этом независимо от причин его возникновения и объектов горения пожар следует рассматривать как сложный физико-химический процесс, связанный с глубоким химическим превращением горящего вещества и приводящий к существенному изменению состава атмосферы, как в районе возникновения пожара, так и в горных выработках, куда проникают продукты горения.

В связи с тем, что углерод является основной составной частью органической массы угля, древесины и других горючих материалов, находящихся в шахте, и основным источником тепловыделения, то горение углерода является главным звеном в процессе подземного пожара, создающим тепловые условия для развития других сопряженных стадий процесса.

Формально горение углерода можно охарактеризовать взаимодействием кислорода с углеродом с образованием окислов CO и CO₂ с выделением тепла:



Реакции наиболее легко протекают при температуре 300...827° C. Восстановление CO₂ с понижением температуры замедляется и при температуре ниже 800°С практически прекращается.

В связи с тем, что часть пара всегда будет оставаться не разложенной, после всех реакций, идущих с затратой тепла, газовая фаза будет состоять из H₂O, CO, CO₂ и H₂.

Необходимо отметить, что на состав пожарных газов могут влиять газы, выделяющиеся из углей и пород.

В угольных шахтах выделяется чистый метан или же чаще метан с примесями углекислого газа и азота, а иногда водорода, этана, этилена, сероводорода. Примесь CO₂ обычно не превышает 5 %, азота содержится от нескольких процентов до 20...30 %. Водород, этан, этилен, сероводород являются сравнительно редкими примесями, и их содержание в воз-

духе не превышает 1...4 %.

В результате статистического анализа данных о составе рудничной атмосферы при авариях в угольных шахтах, а также выполнения специальных экспериментальных исследований установлены возможный газовый состав рудничной атмосферы и пределы содержания в ней отдельных газовых компонентов при подземных пожарах, взрывах газа и угольной пыли, внезапных выбросах угля и газа.

Основные положения по пожароопасности выработок, закрепленных деревянной крепью

Анализ статистических данных по подземным пожарам указывает на повышенную пожароопасность вентиляционных и откаточных штреков выемочных участков, чему способствует длительная вентиляция выемочного участка и наличие в выработках деревянной крепи. Вопрос о влиянии влажности деревянной крепи на возможность возникновения и скорость развития пожара в выработке имеет большой практический интерес. О характере этого влияния можно судить по скорости нарастания температуры t° на пожарном участке, закрепленном деревянной крепью различной влажности W (рис. 2.1). О характере этого влияния можно судить по скорости нарастания температуры на пожарном участке, закрепленном деревянной крепью, различной влажности. При влажности древесины свыше 40 % поджечь крепь с помощью импульсного костра не удастся. При наименее благоприятных условиях для распространения огня ($W=40\%$, $v=1$ м/сек) время полного развития пожара не превышает 100 мин.

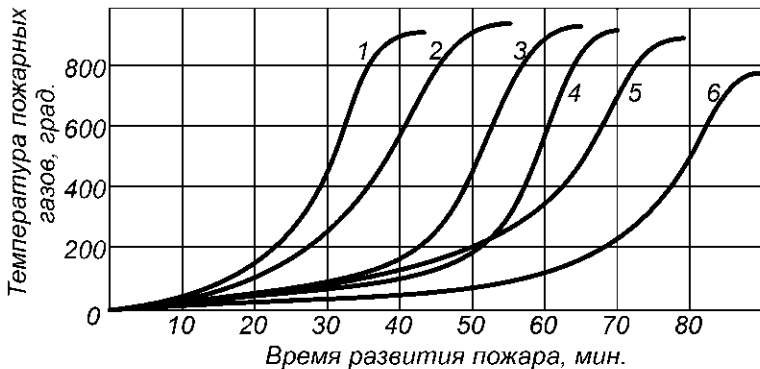


Рисунок 2.1 — График зависимости температуры пожарных газов от влажности деревянной крепи: 1 — $W=15,5\%$, $v=2$ м/сек; 2 — $W=13,3\%$, $v=1$ м/сек; 3 — $W=35\%$, $v=3$ м/сек; 4 — $W=35\%$, $v=2$ м/сек; 5 — $W=24,6\%$, $v=4$ м/сек; 6 — $W=35\%$, $v=1$ м/сек (здесь v — скорость вентиляционной струи, подходящей к очагу пожара, м/сек; W — влажность древесины шахтной крепи, %)

Существует определенная зависимость времени полного развития пожара от скорости проветривания пожарного участка и влажности шахтной крепи, которая выражается формулой

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{3,7W - \ln(42 - W)}{(7 + 11,5v) \cdot 10^{-3}}}, \text{ мин.},$$

где t – время полного развития пожара, мин.;

W – влажность древесины шахтной крепи, %;

v – скорость вентиляционной струи, подходящей к очагу пожара, м/с.

Время полного развития подземного пожара определяется скоростью проветривания пожарного участка v и влажностью шахтной крепи W .

Наиболее благоприятные условия для распространения пожара $v=1$ м/с и $W=40$ %, при этом время полного развития пожара не превышает 100 мин.

Зависимость времени t полного развития подземного пожара от скорости v проветривания и влажности крепи представлены на рис. 2.2.

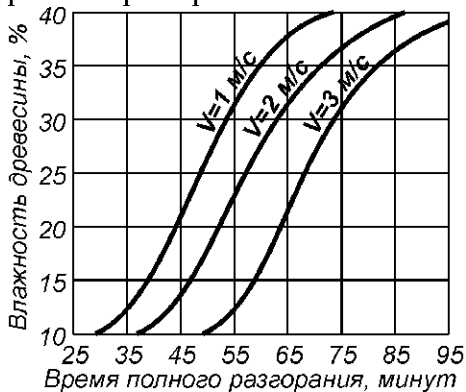


Рисунок 2.2 – График зависимости времени полного развития подземного пожара от скорости проветривания и влажности крепи.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с факторами, влияющими на пожароопасность выработок, закрепленных деревянной крепью, уметь анализировать зависимости температуры пожарных газов от влажности и скорости вентиляционной струи, а также изменение температуры пожарных газов при подземном пожаре на различных участках выработки.

2. Рассчитать время полного развития пожара по формуле (1), для различных показателей влажности деревянной крепи W_1, W_2, W_3 и скорости вентиляционной струи, подходящей к очагу пожара. Исходные данные принять по своему варианту из табл. 1.1. По результатам расчетов построить график зависимости времени полного развития пожара от влажности крепи и скорости вентиляционной струи, подходящей к очагу пожара, при этом по горизонтальной оси отложить значения времени, в минутах через интервал 10 мин., по вертикальной – влажность W .

3. Определить время полного развития подземного пожара при влаж-

ности древесины W_1 и скорости проветривания $v = 1 \dots 3$ м/с, используя рис. 2.2.

Вопросы для самопроверки

1. Факторы, определяющие интенсивность горения шахтной крепи.
2. Как определяется время полного развития пожара в зависимости от влажности деревянной крепи и скорости проветривания пожарного участка?
3. Как изменяется температура пожарных газов при подземном пожаре в выработке, закрепленной деревянной крепью?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Лабораторная работа 3.

Определение изменения температуры пожарных газов при подземном пожаре в горной выработке, закрепленной деревянной крепью

Цель работы:

- использовать теоретические знания для критического анализа факторов, определяющих динамику температуры пожарных газов при горении шахтной крепи;
- приобрести умения и навыки определения температуры пожарных газов по длине выработки.

Ведение очистных и подготовительных работ в сложных горно-геологических условиях, механизация и энерговооруженность шахт увеличивают вероятность подземных пожаров. Борьба с пожарами представляет одну из наиболее трудных и актуальных проблем безопасности в угольной промышленности.

Из общего количества ежегодно возникающих на угольных шахтах подземных пожаров более половины – экзогенные. Проблема повышения эффективности борьбы с подземными пожарами приобретает особую актуальность в связи с тем, что с появлением мощной добычной техники шахты разрабатывают угольные пласты столбами длиной до 3000 м, планируется увеличение последних до 4000 м. Только при этих условиях современная добычная техника может быть рентабельной.

Увеличение длины выемочных столбов ведет к значительному увеличению длины маршрутов для передвижения горняков и горноспасателей в не пригодной для дыхания среде. Кроме того, из-за большой про-

тяженности горных выработок, по которым горноспасатели движутся на помощь шахтерам, время их прибытия к пострадавшим может достигать 1...1,5 ч. За это время зона горения продвигается на 60...100 м, а температура пожарных газов по ходу вентиляционной струи резко возрастает, что не позволяет проводить аварийно-спасательные работы. Высокая температура пожарных газов и скорость перемещения зоны горения существенно влияют на выбор аварийного вентиляционного режима.

НИИГД «Респиратор» разработал концепцию ведения работ на выемочных полях большой протяженности, в которой приведена методика определения температуры за очагом пожара. Для сокращения времени расчетов по этой методике и возникла необходимость разработки программного обеспечения.

Подземные пожары возникают неожиданно и действуют как правило в течение длительного периода времени до их ликвидации. Один из основных поражающих факторов пожаров – высокая температура пожарных газов. Она определяет возможность выхода горнорабочих на свежую струю в самоспасателях и передвижения горноспасателей в не пригодной для дыхания среде.

Для эффективного применения средств и способов тушения развившегося пожара, выбора аварийного режима проветривания участка в котором возник пожар, важно знать среднюю скорость перемещения зоны горения по выработке, максимальную и среднюю температуры пожарных газов в очаге горения и на удалении от него, длину зоны горячей крепи в выработке.

Основными исходными данными для расчетов являются:

- площадь поперечного сечения горной выработки (штрека);
- периметр выработки;
- скорость движения воздуха в выработке;
- температура боковых пород на глубине расположения выработки.

Максимальную температуру пожарных газов t_X на расстоянии x от места возникновения пожара определяется по формуле

$$t_X = t_{II} + (t_O - t_{II}) e^{-\frac{\alpha P}{0,24CQ_B}(x - v_{II}\tau)},$$

где t_{II} – температура боковых пород на глубине расположения выработки, °С;

t_O – температура газов в очаге пожара, °С;

α – коэффициент, учитывающий теплоотдачу;

P – периметр выработки, м;

C – теплоемкость воздуха, Дж/К, $C=1,005$ кДж/К;

Q_B – массовый расход воздуха, проходящего по выработке, кг/ч;

v_{II} – средняя скорость перемещения зоны горения по ходу движения

вентиляционной струи, м/час.,

$$v_{\Pi} = \frac{v}{0,0111 + 0,009v};$$

τ – время с момента возникновения пожара, час.;

v – скорость движения воздуха в выработке, м/с.

Определяем температуру газов t_0 , °С, в очаге пожара по формуле

$$t_0 = \frac{v}{0,00023 + 0,00065v}$$

или по табл. 3.1

Таблица 3.1 – Изменение температуры пожарных газов в зависимости от скорости движения воздуха в выработке

v , м/с	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8
t_0 , °С	637	901	1136	1307	1376	1413	1437	1452	1473

Коэффициент α , учитывающий теплоотдачу, определяем по формуле $\alpha = 4,42 + 3,54v$.

Массовый расход воздуха, проходящего по выработке, определяем по формуле

$$Q_B = 3600vS\gamma,$$

где S – площадь поперечного сечения горной выработки, м²;

γ – средняя плотность воздуха в выработке, кг/м³.

График изменения скорости перемещения зоны горения по выработке в пределах допустимых Правилами безопасности скоростей представлен на рис. 3.1.

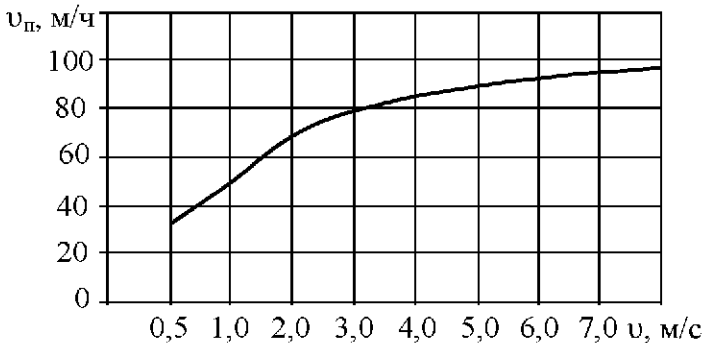


Рис. 3.1. Зависимость скорости перемещения зоны горения по выработке от скорости движения вентиляционной струи

В табл. 3.2...3.4 в качестве примера приведены фактические данные расчета температуры пожарных газов за очагом пожара на примере шахты «Шахтерская-Глубокая» при пожаре на 2-м западном конвейерном штреке 2-й западной лавы пласта L_8 уклонного поля центрального блока.

Таблица 3.2 – Исходные данные к расчёту температуры пожарных газов

Параметр	Значение
Площадь поперечного сечения выработки S , м ²	12,8
Скорость движения воздуха по выработке v , м/с	1,43
Время от момента возникновения пожара τ , ч	1,5
Температура боковых пород $t_{\text{п}}$, °С	35
Периметр выработки P , м	14

Таблица 3.3 Результаты расчета температуры пожарных газов

Параметр	Значение
Температура в очаге пожара $t_{\text{о}}$, °С	1233
Коэффициент, учитывающий теплоотдачу, α	9,48
Массовый расход воздуха $Q_{\text{в}}$, кг/ч	85003
Скорость перемещения зоны горения по ходу движения вентиляционной струи $v_{\text{п}}$, м/ч	59
Температура пожарных газов $t_{\text{х}}$ на расстоянии 1000 м, °С	38

Таблица 3.4 – Распределение температуры пожарных газов в выработке по ходу движения вентиляционной струи

Расстояние от очага пожара, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Температура воздуха в выработке, °С	1154	619	340	194	118	78	58	47	41	38

ВНИИГД получены опытные зависимости по результатам серии измерений в экспериментальной штольне. Анализ показывает резкое увеличение интенсивности нарастания температуры отходящих пожарных газов через 30 минут после поджигания импульсного костра с 8...10 до 40...90 °/мин. На рис. 3.2 представлена динамика изменения температуры на пожарном участке, закрепленном деревянной крепью влажностью 15,5 % при скорости движения свежего воздуха к очагу пожара 2 м/с.

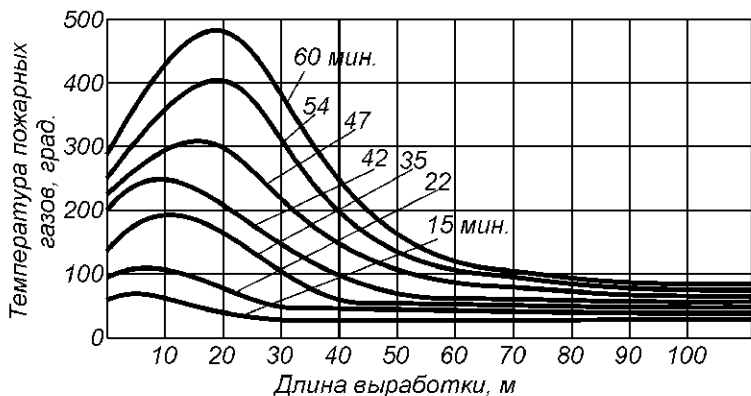


Рис. 3.2 — Изменение температуры пожарных газов при подземном пожаре в выработке, закрепленной деревянной крепью.

В дальнейшем, как показали результаты эксперимента, пожар распространяется по выработке примерно с одинаковой скоростью. При небольшой температуре очага пожара в начальной его стадии и относительно низкой температуре стенок выработки охлаждение газового потока происходит очень интенсивно. Так, к 10-й минуте развития пожара при температуре очага 470° на расстоянии 50 м зафиксировано снижение температуры газового потока до температуры, незначительно превышающей температуру стенок выработки.

В качестве примера на рис. 3.3 представлено изменение температуры внутреннего пожара в зависимости от вида горючего материала и величины пожарной нагрузки.

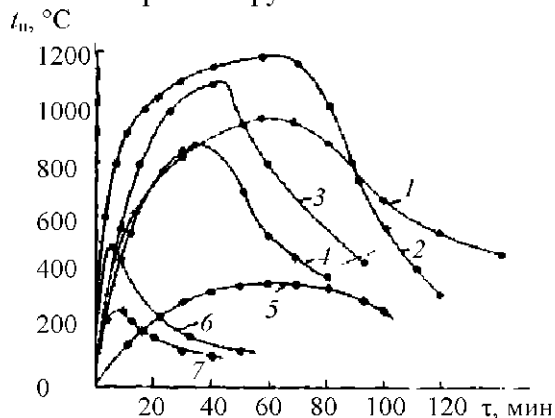


Рис. 3.3 — Изменение температуры внутреннего пожара в зависимости от вида горючего материала и величины пожарной нагрузки:
 1 — резина, 100 кг/м^2 ;
 2 — древесина, 100 кг/м^2 ;
 3 — каучук, 50 кг/м^2 ;
 4 — резина, 50 кг/м^2 ;
 5 — древесина, 50 кг/м^2 ;
 6 — фенопласт, 50 кг/м^2 ;
 7 — бумага, 50 кг/м^2 .

Порядок выполнения работы

1. Определить изменение температуры Δt_1 и Δt_2 пожарных газов при подземном пожаре на участке L_1-L_2 выработки. Протяженность участка пожара и время от начала и конца изменения температуры принять из табл. 1.1.

2. Проанализировать изменение температуры пожарных газов при

подземном пожаре в выработке, закрепленной деревянной крепью, используя рис. 3.1.

Вопросы для самопроверки

1. Чем определяется динамика температуры пожарных газов при горении шахтной крепи?
2. Как изменяется температура пожарных газов по длине выработки?
3. Опишите интенсивность нарастания температуры пожарных газов.
4. Как влияет время горения на температуру пожарных газов?
5. На каком расстоянии от очага возгорания резко возрастает температура горения, и по какой зависимости происходит уменьшение температуры?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Лабораторная работа 4.

Определение концентрации углеродсодержащих газов от температуры очага горения

Цель работы:

- использовать теоретические знания для анализа изменения состава рудничной атмосферы при пожаре;
- приобрести умения и навыки определения концентрации пожарных газов по длине выработки.

Степень пожароопасности горных выработок характеризуется не только скоростью развития пожара, но и интенсивностью генерации в очаге пожара ядовитых и удушливых газов, которые, попадая в вентиляционную струю, создают определенную опасность для жизни горнорабочих, находящихся в шахте.

Анализ показал, что при пожарах в проветриваемых выработках в большинстве случаев, несмотря на деятельное разбавление пожарных газов воздухом, концентрация кислорода снижается до 12 %, а содержание окиси углерода достигает 0,5... 1 %.

При этом следует отметить, что снижение концентрации кислорода до 12 % и ниже приводит к быстрой потере сознания у человека, а при отсутствии немедленной помощи наступает смерть.

Концентрация различных газов в вентиляционной струе, отходящей от очага пожара, зависит от интенсивности горения крепи в горных выработках (рис. 4.1). Обработка проб газов, набранных при проведении

опытов в экспериментальной штольне ВНИИГД, показала, что содержание кислорода плавно убывает по мере повышения температуры в очаге пожара до 700 °С. Затем происходит более резкое уменьшение его содержания, и при температуре 1000...1200 °С концентрация кислорода приближается к нулю. Обратная закономерность наблюдается в отношении нарастания концентрации углекислого газа, которая достигает максимального значения (17 %) при температуре 1200 °С. Следы окиси углерода в пожарных газах появляются при прогреве потока этих газов до температуры 80...100 °С. Затем концентрация ее растет и при максимальном развитии пожара достигает 7 %. Концентрация третьего углеводородсодержащего газа – метана также растет (в пределах от 0 до 2 %) по мере увеличения температуры газового потока.

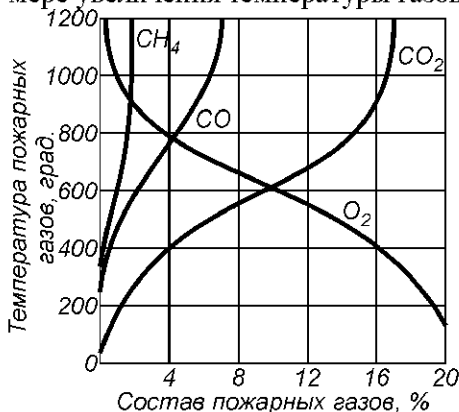


Рис. 4.1 – График зависимости состава пожарных газов от температуры очага пожара в период разгорания (экспериментальные данные)

При горении деревянной крепи, угля, конвейерных лент и электроизоляции в атмосфере пожарного участка в опасных концентрациях появляются окись углерода, углекислый газ, сернистый газ и сероводород. Кроме того, содержание кислорода в атмосфере пожарного участка снижается, что представляет серьезную опасность для жизни горнорабочих. Так, при уменьшении концентрации кислорода меньше 17 % начинается кислородное голодание (аноксемия), заключающаяся в учащении дыхания и пульса, понижении способности мышления, нарушении четкости работы мышц. Дальнейшее снижение концентрации кислорода до 12 % и ниже приводит к потере сознания, а при отсутствии немедленной помощи наступает смерть.

При подземных пожарах, взрывах метановоздушных смесей и угольной пыли, внезапных выбросах угля и газа атмосфера горных выработок становится непригодной для дыхания.

Токсичность продуктов горения

Гибель людей при пожарах происходит главным образом в результате отравления летучими продуктами горения материалов. Из статистических данных известно, что причины смерти на пожарах распределяются

так: 18 % – ожоги, 48% – отравления оксидом углерода (угарным газом), 16 % – отравление оксидом углерода, 18 % – сочетание воздействия на организм теплоты, оксида углерода и других факторов.

Интенсивное образование паров и газов в результате горения и быстрое их распространение по помещениям и путям эвакуации происходит уже в начальной стадии пожара. Летучие продукты горения представляют большую опасность даже при кратковременном вдыхании. Известно немало случаев массовых отравлений со смертельными исходами.

Понятие о токсичности

Отдельные попытки количественной оценки токсического воздействия продуктов горения предпринимались еще в 50-е и 60-е годы. Начиная с 70-х годов, исследования в этом направлении заметно активизировались.

Под токсичностью обычно понимают степень вредного воздействия химического вещества на живой организм. Степень токсичности вещества характеризуется величиной токсической дозы – количеством вещества (отнесенным, как правило, к единице массы животного или человека), вызывающим определенный токсический эффект, например, снижение работоспособности, или потеря сознания, или гибель. Чем меньше токсическая доза, тем выше токсичность.

Степень токсичности вещества характеризуется также предельно допустимой концентрацией (ПДК). ПДК – это максимальное количество вещества в единице объема воздуха или воды, которое при ежедневном воздействии на организм в течение длительного времени не вызывает в нем патологических изменений, а также не нарушает нормальной жизнедеятельности человека (выражается в мг/м³). Концентрации токсичных веществ на уровнях ПДК являются, по сути, благоприятными концентрациями.

Иное дело при аварийном выбросе химических веществ или при выделении газов в результате неуправляемого горения. В случае ингаляции (вдыхании газов) токсический эффект зависит уже не только от концентрации газов, но и от времени их воздействия.

Токсикологам известны значения токсических доз или критических концентраций многих опасных веществ по отношению к различным лабораторным животным (белые мыши, белые крысы и др.), а также по отношению к самому человеку (при экспертизе реальных трагедий).

Проблема предупреждения отравлений имеет особое значение для пожарных, по отношению к которым токсический фактор в условиях пожара рассматривается как профессиональная вредность (хроническое отравление). В возникновении и развитии наиболее распространенных среди пожарных заболеваний сердечно-сосудистой системы, легких, а также злокачественных опухолей важную негативную роль играют острые и

повторные токсические воздействия продуктов горения.

Токсичность угарного газа

Оксид углерода (СО) – газ без цвета, запаха и вкуса; горит синим пламенем до образования углекислого газа – диоксида углерода (СО₂). В бытовых условиях (в деревне, на даче) синее пламя на углях в печи всегда являлось признаком присутствия угарного газа. При неисправном дымоходе или преждевременном закрывании печной заслонки наблюдались случаи отравления этим газом (угар). Отсюда произошло его бытовое название – угарный газ. По токсичности угарный газ близок к синильной кислоте.

Механизм биологического воздействия СО.

Воздействие на кровь. Поступая с воздухом в лёгкие, СО проникает в кровь, где соединяется с гемоглобином, одним из белков крови. Образуется устойчивое соединение карбоксигемоглобин (НбСО). Реакции образования комплексов кислорода и оксида углерода с гемоглобином (Нб) являются обратимыми:

$\text{Hb} + \text{O}_2 = \text{HbO}_2$ (образование оксигемоглобина);

$\text{Hb} + \text{CO} = \text{HbCO}$ (образование карбоксигемоглобина);

$\text{HbO}_2 + \text{CO} = \text{HbCO} + \text{O}_2$ (вытеснение кислорода оксидом углерода).

Скорости этих реакций различны: соединение гемоглобина с СО происходит в 10 раз медленнее, чем с О₂, но обратная реакция диссоциации (разрушения) карбоксигемоглобина в крови происходит тоже значительно медленнее, чем оксигемоглобина (по некоторым данным – в 3600 раз). Это обуславливает быстрое накопление НбСО даже при небольшом содержании СО в воздухе. Нарушается механизм переноса кислорода из лёгких к тканям в виде НбО₂ и из тканей к лёгким в виде комплекса гемоглобина с углекислым газом (НбСО₂). А так как образовавшееся соединение НбСО перестает участвовать в обменных процессах; в организме возникает дефицит кислорода, удушье.

Кроме того, в присутствии СО в крови ухудшается способность НбО₂ к диссоциации, т.е. замедляется отдача тканям кислорода. Если концентрация НбСО в крови млекопитающих достигает 50% и выше, то это грозит их гибелью.

Воздействие на ткани. СО в организме в основном связывается с железом гемоглобина, но при хроническом отравлении молекулы СО фиксируются негемоглобиновым железом плазмы. СО переходит из крови в ткани и соединяется с железосодержащими ферментами и миоглобином. Миоглобин – это внутриклеточный пигмент, обуславливающий красный цвет мышц; выполняет роль краткосрочного резерва кислорода. Аналогично образованию карбоксигемоглобина (НбСО) миоглобин образует карбоксимиоглобин (МбСО) – до 30 % при остром отравлении.

Симптомы отравления. При аварийных ситуациях, при пожаре, при

вдыхании выхлопных газов, и даже при курении следует учитывать, что угарный газ воздействует на человека даже в небольших концентрациях, так как он обладает способностью накапливаться в организме (суммироваться в виде карбоксигемоглобина), при этом тормозятся защитные реакции организма. Человек обычно не чувствует, когда он начинает вдыхать токсичный газ, однако через некоторое время появляется головная боль, ослабление зрения, головокружение, тошнота. При дальнейшем воздействии угарного газа теряется реальное чувство времени, нарушается ориентация в пространстве и, если потерпевший срочно не покинет помещение, возможен летальный исход. Кроме того, воздействие СО притупляет ощущение боли от полученных ожогов, и это еще один фактор неадекватного поведения человека, например, при пожаре.

Индивидуальная восприимчивость. Индивидуальные различия в чувствительности к острым и хроническим отравлениям СО довольно велики. Обнаруживаются половые и возрастные особенности реакции организма на воздействие СО: женщины более устойчивы чем мужчины к токсическому действию этого яда, а маленькие дети более устойчивы, чем пожилые люди. Зарегистрированы случаи, когда при бытовых отравлениях СО погибали родители, а их грудные дети оставались живы. Особенно чувствительны подростки и беременные женщины (при отравлении в первые 3 месяца беременности возможны уродства плода или развитие тяжелой энцефалопатии).

Тяжело переносят отравление алкоголики, курящие люди, а также лица, страдающие бронхитом и астмой, сердечными заболеваниями, болезнями легких, диабетом, анемией, болезнями печени, кровообращения и некоторыми другими.

Понижение и повышение температуры воздуха, уменьшение концентрации кислорода, а также повышенная физическая нагрузка, шум, вибрация усиливают токсическое действие СО. Примеси некоторых химических веществ могут усиливать или незначительно снижать действие СО.

О концентрациях СО

Естественный уровень концентрации. В атмосферу СО попадает в составе вулканических и болотных газов, в результате лесных и степных пожаров; выделяется микроорганизмами, растениями, животными и человеком. Хотя природные источники планеты дают около 3800 млн.т СО в год, естественный уровень концентрации оксида углерода в атмосфере составляет всего 0,01...0,9 мг/м³ (или менее 0,0001 %).

В результате человеческой деятельности выделяется дополнительно 550 млн.т СО в год, что составляет 13% от общей эмиссии СО в атмосферу Земли. Оксид углерода входит в состав газов, выделяющихся в процессах выплавки и переработки черных и цветных металлов, в процессе угледобычи, при сжигании топлива, при проведении взрывных работ, но

более половины (56-62%) количества CO, образовавшегося в результате человеческой деятельности, приходится на долю автотранспорта. В выхлопных газах относительное содержание CO может достигать 12 %.

Допустимые концентрации. Нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ разработаны в России для различных групп населения. Для воздуха населенных мест среднесуточная норма ПДК_{сс}=3,0 мг/м³; в атмосферном воздухе максимальная разовая ПДК_{мр}=5,0 мг/м³ (при 20...30 минутном воздействии); в воздухе рабочей зоны ПДК_{рз}=20,0 мг/м³ или примерно 0,002 % CO (в течение всего рабочего дня).

Аварийные концентрации. Разработанные «аварийные регламенты» получили название максимально допустимых концентраций (МДК). При воздействии вредных веществ в таких концентрациях гарантируется сохранение жизни, здоровья людей и их способность осуществлять мероприятия по борьбе с аварией. Допускается снижение работоспособности людей, не превышающее 30 %, при отсутствии клинических симптомов интоксикации. Значения МДК соответствуют определенному времени воздействия. МДК для оксида углерода составляет: 600 мг/м³ при времени воздействия 10 мин.; 400 мг/м³ – при 15 мин.; 300 мг/м³ – при 30 мин.; 200 мг/м³ – при 60 мин. (или около 0,02 % CO). Эти данные, проверенные в испытаниях с участием добровольцев, могут использоваться при оценке времени безопасности (времени эвакуации) в экстремальных условиях пожара.

Недопустимые концентрации. Непереносимые и смертельные для человека концентрации CO в смеси с воздухом составляют: 11500 мг/м³ (или 1 % CO) при времени воздействия 3 мин.; 3500...4000 мг/м³ (или 0,3...0,4 % CO) при 30 мин.; 2300 мг/м³ (или 0,2 % CO) при времени воздействия газа 60 мин.

Конечно, человек не может «на глаз» определить концентрацию газа, но, как правило, при сильном горении значение концентрации CO и визуальная плотность дыма взаимосвязаны. Известно, что если во время пожара на путях эвакуации (коридор, лестничная площадка и пр.) видимость составляет менее 10 метров, то входить в такую «дымовую завесу» без специальных средств защиты смертельно опасно, т.к. человеку может быть достаточно нескольких вдохов для потери сознания (в крови образуется предельный уровень карбоксигемоглобина).

Углекислый газ (CO₂)

При горении в больших количествах выделяется углекислый газ CO₂ (диоксид углерода, двуокись углерода), который относится к классу малотоксичных веществ. Особенность вредного воздействия CO₂ в условиях пожара состоит в том, что он вызывает учащение дыхания и усиление легочной вентиляции, способствуя большему поступлению в организм

токсичных веществ. При концентрации CO_2 равной 3 % дыхание учащается в три раза; повышение концентрации до 5 % усиливает одышку, но позволяет все же осуществлять эвакуацию людей, хотя через 30 минут наступают симптомы отравления (головная боль, головокружение). При 8 % CO_2 возможна потеря сознания, а при 12 % – смерть в течение нескольких минут.

Недостаток кислорода

Опасность продуктов горения вблизи очага пожара усугубляется влиянием повышенной температуры газовой среды и пониженным содержанием в ней кислорода. Первые симптомы кислородной недостаточности (увеличение объема дыхания, снижение внимания, нарушение мышечной координации) наблюдаются у людей при вдыхании газовой смеси с содержанием кислорода 16...17%. При снижении концентрации до 12...15 % появляется одышка, учащение пульса, ухудшение умственной деятельности, головокружение; при дальнейшем уменьшении концентрации O_2 сознание сохраняется, но появляется тошнота, сильная усталость, дыхание становится прерывистым; при 8 % O_2 – потеря сознания, а ниже 6 % O_2 – смерть в течение 6...8 мин.

Защита органов дыхания при чрезвычайных ситуациях

Бытует ошибочное мнение, что от действия угарного газа можно защититься, прикрыв рот и нос влажной тканью. Следует твердо помнить, что оксид углерода не задерживается ни сухой, ни влажной тканью, ни респиратором, ни даже обычным противогазом, и в этом он схож с кислородом и углекислым газом.

Для защиты от CO могут использоваться фильтрующие противогазы с соответствующими защитными патронами (коробками), но они не помогут при недостатке кислорода в атмосфере. Более надежны изолирующие средства защиты: самоспасатели, портативные дыхательные аппараты и устройства. Ниже приведены некоторые индивидуальные средства защиты.

Фильтрующий противогаз с коробкой марки CO ; время защитного действия при концентрации CO в воздухе 6200 мг/м^3 – 150 минут. Фильтрующий противогаз с коробкой марки M ; время защитного действия при той же концентрации CO в воздухе – 90 мин. (однако противогаз этой марки нельзя использовать при наличии в воздухе органических веществ). Очень важен срок годности фильтрующей коробки противогаза. Применение указанных марок фильтрующих противогазов допускается при наличии в воздухе не менее 18 % O_2 и не более 0,5 % (объемн.) CO .

Газодымозащитный комплект (фильтрующий) ГДЗК предназначен для защиты кожи головы, а также органов дыхания и зрения от дыма, CO и синильной кислоты (до 15 мин.), от других токсичных газов. Может использоваться как взрослыми людьми, так и детьми старше 10 лет. (Це-

на около 1000 руб.).

Самоспасатель промышленный изолирующий СПИ-20 защищает органы дыхания и зрения людей при эвакуации из высотных зданий при пожарах. Время защиты 20...50 мин. (Цена около 1400 руб.)

В настоящее время в нашей стране и особенно за рубежом разработано много новых типов защитных индивидуальных устройств, а также газоанализаторов и индивидуальных сигнализаторов угарного газа, однако их цены не всегда доступны даже для профессионалов.

Таким образом, индивидуальные средства защиты от воздействия СО нельзя назвать простыми, которые могут быть всегда под руками. Поэтому при наличии самых начальных признаков отравления, а именно: ухудшение зрения, снижение слуха, легкая боль в области лба, головокружение, ощущение пульсации в висках, снижение координации мелких точных движений и аналитического мышления - человек должен немедленно покинуть помещение, а если он был в противогазе, то коробку противогаза необходимо заменить на новую.

Вот далеко не все, что может рассказать токсиколог о вредном воздействии продуктов горения на человека. Если нет желания вникать во все эти сложности, то есть единственный простой выход: как таблицу умножения знать все правила пожарной безопасности, никогда их не нарушать и не позволять этого делать другим.

Порядок выполнения работы

1. Определить изменение состава пожарных газов CO_2 , CO , CH_4 , O_2 в зависимости от температуры Δt°_1 и Δt°_2 пожарных газов при подземном пожаре на участке выработки принять из табл. 1.1.

2. Описать по рис. 4.1 динамику пожарных газов (окиси и двуокиси углерода, метана, кислорода).

Вопросы для самопроверки

1. Что относится к объектам пожаров на шахте?
2. Как влияет на скорость горения крепи влажность?
3. Определяет ли скорость движения вентиляционной струи процесс развития подземного пожара?
4. От чего зависит время полного развития подземного пожара?
5. Какие условия наиболее благоприятны для быстрого полного развития пожара и какие наименее?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Лабораторная работа 5. Организация контроля над ранними признаками самовозгорания угля

Цель работы:

- использовать теоретические знания для контроля за ранними признаками самовозгорания угля;
- приобрести умения и навыки определения концентрации пожарных газов.

Самовозгораться могут практически все ископаемые угли и содержащие углистое вещество породы. Процесс самовозгорания углей полностью не изучен, известны лишь факторы, способствующие или тормозящие самовозгорание, а также некоторые закономерности самонагрева и самовозгорания угля.

Наибольшее признание получила теория комплекса «уголь – кислород», согласно которой самовозгорание угля является физико-химическим процессом, самоускоряющимся по мере повышения температуры за счет тепловыделения в результате реакции окисления угля. В соответствии с этой теорией вначале происходит низкотемпературное окисление угля - адсорбция кислорода углем с образованием на его поверхности неустойчивых кислородных соединений. При этом выделение теплоты незначительно. Затем с повышением температуры начинается расщепление неустойчивых кислородных комплексов с образованием конечных продуктов окисления угля – углекислого газа, оксида углерода, воды, при котором выделение теплоты возрастает в 1,5...2 раза. Самонагревание происходит при аккумуляции углем 60...70 % теплоты, выделяющейся при его окислении.

Склонность угля к самовозгоранию определяется рядом его физико-химических свойств, в том числе химической активностью, структурными и прочностными характеристиками, природной влажностью, газоносностью и др.

По химической активности все угли делятся на три группы: высокоактивные – бурые угли; умеренно активные – каменные угли (наиболее опасны по самовозгоранию угли марок Д и Г); малоактивные – антрациты.

В зонах тектонических нарушений уголь, как правило, обладает повышенной химической активностью. Кроме того, тектоническая нарушенность пласта снижает скорость подвигания очистного забоя и увеличивает эксплуатационные потери, что также способствует самовозгоранию угля.

Наиболее характерными местами возникновения эндогенных пожа-

ров являются выработанные пространства (66,9 %) и подготавливающие и вскрывающие выработки (24,6 %).

Ранние признаки эндогенного пожара можно обнаружить несколькими методами.

Начинающийся пожар в шахте можно обнаружить по внешним признакам, последовательность проявления которых в выработках приведена на рис. 5.1.

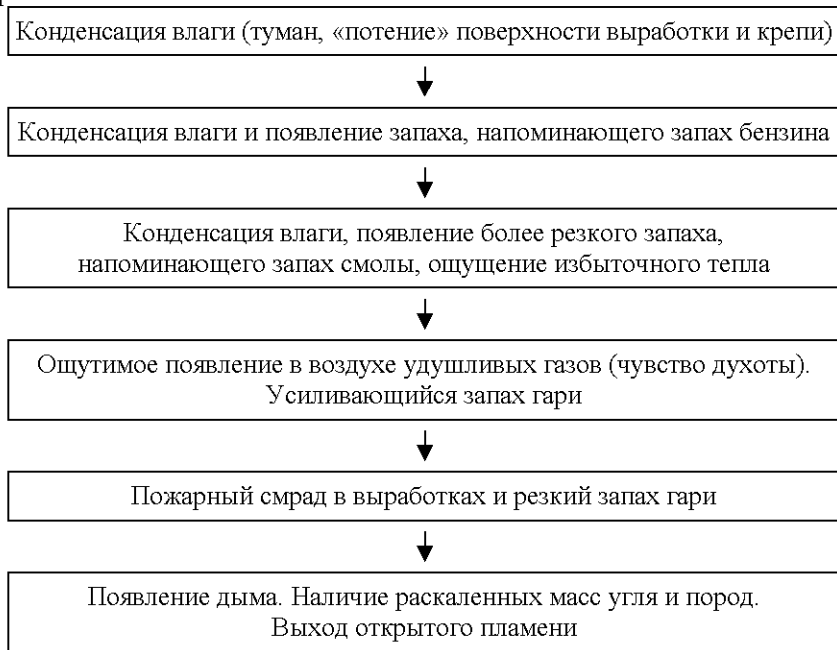


Рис. 5.1. Последовательность проявления внешних признаков развивающегося эндогенного пожара

Контроль за развитием ранних стадий самовозгорания угля осуществляется преимущественно по выявлению оксида углерода. При этом ранним признаком самовозгорания угля считается появление в шахтном воздухе устойчивого содержания оксида углерода 0,001...0,0015 % и выше. Обычно вслед за этим наблюдают повышение влажности появление тумана, а затем, если не будут приняты меры, можно ожидать появления запаха гари и резкого возрастания концентрации оксида углерода до сотых и десятых долей процента.

При помощи экспресс-метода газоанализаторами ГХ-4 работники участка ВТБ контролируют содержание оксида углерода на участках, разрабатывающих склонные к самовозгоранию угля пласты.

Стационарный автоматический газоанализатор «Сигма-СО» устанавливают в горных выработках, в которых наиболее вероятно появление

оксида углерода (исходящие вентиляционные струи очистных забоев, участков, этажей и панелей). Он состоит из собственно газоанализатора, размещенного во взрывозащищенном корпусе, пробоотборного зонда и самописца и может определять концентрацию оксида углерода до 0,03 % с погрешностью измерения $\pm 2,5$ % при максимальной длине каналов связи 10 км. Масса прибора 100 кг. Принцип действия прибора основан на поглощении оксидом углерода радиации в инфракрасной области излучения. Источником излучения являются две нихромовые нити. Испускаемые ими потоки радиации, проходя через рабочую и сравнительную кюветы, попадают в камеру лучеприемника. Появление оксида углерода в анализируемой пробе снижает поток инфракрасной радиации в рабочей камере, что вызывает уменьшение температуры и давления находящейся в ней газовой смеси. Это приводит к изменению емкости конденсатного преобразователя, которое пропорционально концентрации оксида углерода.

В лабораторных условиях для установления содержания оксида углерода в рудничной атмосфере применяют промышленные хроматографы, а также приборы «Сигма-СО-602» и «Эндотестер», обеспечивающие точность определения до 0,0005 %.

Ранние стадии самовозгорания угля определяют также по содержанию в рудничной атмосфере непредельных углеводородов (этилена и ацетилена). Исследованиями установлено, что отношение фоновых концентраций этилена и ацетилена в шахтном воздухе близко к единице. При самонагревании угля концентрация этилена возрастает в тысячи раз, в то время как изменение содержания ацетилена сравнительно невелико. После воспламенения угля отношение концентраций этилена и ацетилена становится близким к фоновому значению, но их абсолютные концентрации возрастают во много раз. Это позволяет отличать стадию горения угля от стадии его самовозгорания.

Для обнаружения невидимых очагов самовозгорания угля по тепловому состоянию горных выработок применяется индикатор «Квант», являющийся переносным автономным прибором. Для пеленгации нагретых поверхностей выработки стрелка индикатора устанавливается на нулевое показание по известному «холодному» предмету. При перемещении индикатора по исследуемой выработке по отклонению стрелки прибора фиксируют местонахождение нагретой поверхности.

Для контроля за самовозгоранием угля в выработанном пространстве и целиках используют температурные датчики и воздухоотборные шланги. Температурные датчики устанавливают в шпурах, пробуренных в целиках по середине расстояния от почвы до кровли выработки. Первый датчик располагают на расстоянии 3 м от угла целика, все последующие – через каждые 10...15 м. Шпуры, в которые устанавливают температур-

ные датчики, заполняют глиной на глубину 0,5 м от устья.

На угольных шахтах контроль за ранними признаками эндогенных пожаров осуществляется специально организованной контрольно-наблюдательной службой, которая отбирает пробы рудничного воздуха и замеряет температуру, проводит лабораторный анализ отобранных проб воздуха, оценивает результаты анализа и контроля. Места и периодичность отбора проб воздуха контрольно-измерительной службой, порядок экспресс-определения оксида углерода в горных выработках и наблюдений за внешними признаками самовозгорания определяет главный инженер шахты по согласованию с командиром ВГСЧ.

Ниже приведены выдержки из документа «Пожарная безопасность на рудниках и шахтах горнорудной и нерудной промышленности»

1. Контроль за ранними признаками самовозгорания угля организуется в соответствии с ПБ с помощью специальной аппаратуры. При отсутствии систем непрерывного автоматического контроля наблюдения за ранними признаками самовозгорания угля должны вестись силами участка ВТБ (и специального участка) и ГВГСС.

Наблюдению и контролю подлежат все объекты и места горных выработок, в которых возможно самовозгорание угля. При этом особое внимание должно быть уделено наблюдению за пустотами над выработками, выработанным пространством, местами геологических нарушений, старыми непогашенными выработками, целиками над откаточными и под вентиляционными штреками, охранными целиками угля и др. Места контроля выбираются главным инженером шахты и согласовываются командиром подразделения ГВГСС, обслуживающего данную шахту.

В основу контроля за самонагреванием угля положен метод, основанный на определении доли оксида углерода и водорода контролируемом участке.

2. Признаком самонагревания угля является устойчивая объемная доля оксида углерода и водорода, превышающая фоновую в горной выработке. При этом на стадии самонагревания отношение долей CO к H_2 превышает 10, а на стадии горения – менее 10.

Контролируется также объемная доля диоксида углерода, кислорода, предельных и непредельных углеводородов, температура воздуха, породы и воды.

3. Для непрерывного определения микродолей оксида углерода непосредственно в горных выработках может использоваться стационарная автоматическая аппаратура «Сигма-СО-В» с точностью измерения, требуемой нормативами. Данные непрерывного определения CO поступают на ЭВМ, где их обрабатывают.

Принцип действия газоанализатора «Сигма-СО-В» основан на измерении поглощения оксидом углерода инфракрасного излучения.

Техническая характеристика «Сигма-СО-В»:

- диапазон измеряемых объемных долей – 0,00...0,01 %;
- предел допускаемой относительной основной погрешности – 6 %;
- время установления выходного сигнала без учета времени транспортирования пробы – не более 60 с;
- длина пробоотборного зонда – 200 м;
- время работы в автоматическом режиме – не менее 7 сут.;
- продолжительность показаний – не менее 14 сут.;
- потребляемая мощность – не более – 50 Вт;
- габаритные размеры – 480×570×650 мм³;
- масса – не более 7,7 кг.

4. На шахтах, где отсутствуют приборы непрерывного контроля, доля оксида углерода определяется непосредственно в горных выработках при помощи газоопределителей химических ГХ-М и газоанализатора хроматографического «Эндотестер».

Определение доли оксида углерода газоопределителем химическим ГХ-М основано на линейно-калориметрическом принципе.

Техническая характеристика газоопределителя ГХ-М:

- диапазон измеряемых объемных долей – 0,0005...0,2500 %;
- предел допускаемой относительной основной погрешности – ±25 %;
- срок годности – 36 мес.;
- масса прибора (аспиратора мехового и одной коробки трубок) – не более 0,52 кг.

Газоанализатор «Эндотестер» применяется в угольных шахтах всех категорий по газу и опасных по пыли как переносной прибор индивидуального пользования с автономными источниками пневматического и электрического питания.

Техническая характеристика газоанализатора «Эндотестер»:

- диапазон измеряемых объемных долей водорода и оксида углерода, % – 0,00...0,01; 0,00...0,05; 0,0...0,1; 0,00...0,25; 0,0...0,5;
- предел допускаемой приведенной основной погрешности в каждом диапазоне – ±10 %
- продолжительность выхода на рабочий режим – не более 15 мин.;
- продолжительность анализа – не более – 5 мин.;
- продолжительность непрерывной работы без замены источников питания – не менее – 8 час.;

- масса без чехла – не более 8 кг;
- габаритные размеры, мм, не более – $290 \times 372 \times 120$ мм³.

Техническая характеристика газоанализатора «СО-1002»:

- диапазон измерений объемной доли, % – 0,00...0,01; 0,00...0,05; 0,00...0,151; 0,0...0,5;
- предел допускаемой относительной основной погрешности – ± 10 %;
- продолжительность выхода газоанализатора на режим – 1 час.;
- продолжительность анализа – 4 мин.

Для лабораторного определения доли оксида углерода в пробах шахтного воздуха используется газоанализатор «Сигма-СО-602».

Техническая характеристика газоанализатора «Сигма-СО-602»:

- диапазон измерений объемной доли, % – 0,000...0,005; 0,00...0,05;
- класс точности – 6;
- продолжительность прогрева – 30 мин.;
- минимальный объем пробы воздуха для анализа – 0,3 л;
- габаритные размеры – $600 \times 300 \times 200$ мм³;
- масса – 15 кг.

5. Доля индикаторных газов в шахтном воздухе при наличии самонагревания зависит не только от стадии пожара, но и от подачи в выемочное поле воздуха и его утечек в выработанное пространство. Выделение газов на всей температурной кривой нагревания угля и зависимость их объемной доли в воздухе от изоляционного режима и его изменения во времени предопределяют присущие газоаналитическому методу ошибки двух родов: первая – при объемной доле, например, оксида углерода менее 1 % дается заключение «нет пожара» – при его наличии в стадии не установившегося горения; вторая – при большой объемной доле индикаторных газов делается вывод о наличии пожара и опасности прорыва горючих газов при фактической температуре в очаге самонагревания менее критической.

При отсутствии «Эндотестера» определяют долю водорода согласно «Методике обнаружения и контроля за ходом тушения эндогенных пожаров по пробам воздуха из горных выработок и дегазационных скважин».

Вопросы для самопроверки

1. Какие места в шахте контролируются в первую очередь на наличие и развитие подземного пожара?

2. Какой метод используется для контроля самовозгорания?
3. Кто выбирает и контролирует места наблюдения за пожарами?
4. Какой основной признак самонагревания угля?
5. Принцип действия газоанализатора «Сигма-СО-В».
6. Как определяют долю оксида углерода на шахтах, где отсутствуют приборы непрерывного контроля?
7. Как работает газоопределитель химический ГХ-М и газоанализатора хроматографический «Эндотестер»?
8. Для чего используется газоанализатор «Сигма-СО-602» и на каком принципе основана его работа?
9. Чем определяется доля индикаторных газов в шахтном воздухе?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Лабораторная работа 6.

Определение способности к взрыву смеси горючих газов

Цель работы:

- использовать теоретические знания для определения способности к взрыву смеси горючих газов;
- приобрести умение и навыки построения треугольников способности к взрыву;
- формировать умение выбора образа предотвращения взрывов при ведении горноспасательных работ.

Основные положения по взрывоопасным смесям горючих газов

Способности к взрыву смеси горючих газов при подземных пожарах определяется по помощи треугольника способности к взрыву. Для этого предварительно определяется суммарная концентрация горючих газов (%):

$$C_2 = C_1 + C_2 + C_3,$$

где C_1 , C_2 , C_3 – концентрация метана, оксида углерода и водорода соответственно, %.

Координаты вершин треугольника по оси абсцисс находятся по формулам для нижней границы способности к взрыву

$$B_H = \frac{4,3C_G}{C_1 + 0,344C_2 + 1,075C_3}, \quad (1)$$

и для верхней границы способности к взрыву

$$B_B = \frac{15C_G}{C_1 + 0,202C_2 + 0,2C_3}. \quad (2)$$

Координата нижней вершины треугольника по оси ординат находится по формуле для пика зажигания по кислороду

$$P_K = \frac{10,5C_1 + 5,6C_2 + 5C_3}{C_G}. \quad (3)$$

Значение полученных величин C_G , B_H и B_B позволяют судить во взрывоопасности горючих газов. Так, смесь невзрывоопасная в случаях, если $C_G < B_H$ или $C_G > B_B$, а также при $O_2 < P_K$, если $B_H < C_G < B_B$, где O_2 – содержание кислорода в зоне горения, %.

Для наглядной оценки способности к взрыву на рис. 6.1 представлен набор вложенных друг в друга треугольников. Чтобы определить, какой из треугольников способности к взрыву отвечает данной смеси горючих газов, заранее находят (с точностью до одной десятой) часть метана и оксида углерода в их соединении по формуле:

$$P_{CH_4} = \frac{C_1}{C_G}, \quad (4)$$

$$P_{CO} = \frac{C_2}{C_G}. \quad (5)$$

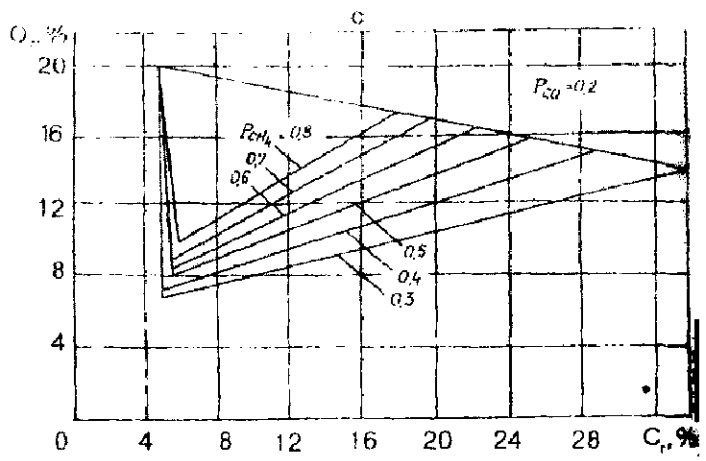
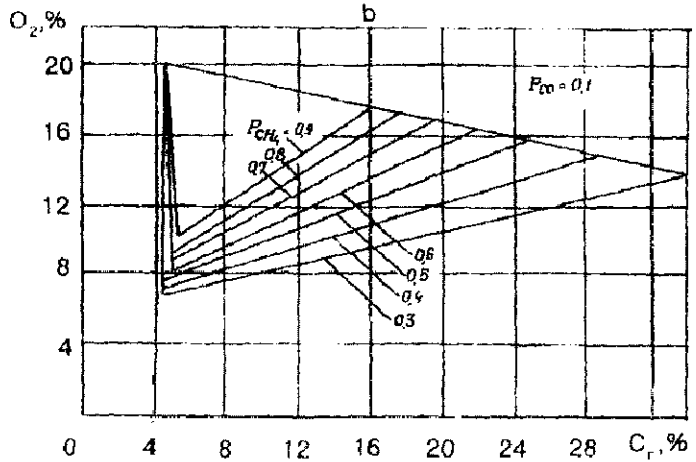
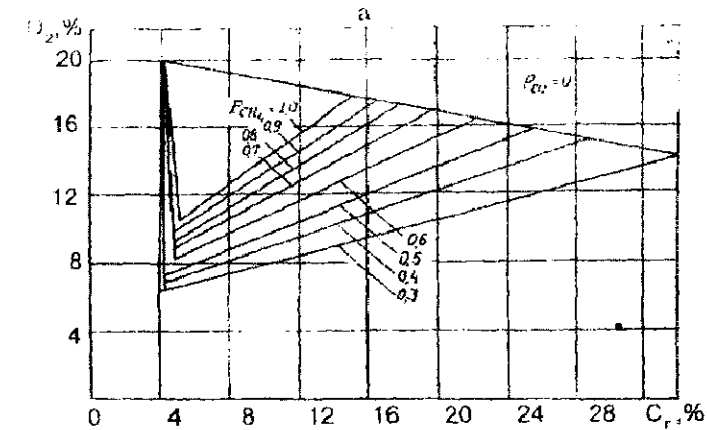
Там же на график наносится точка X с координатами (C_G, O_2) . Если точка X попадает в границу площади треугольника с соответствующим значением части CH_4 , то смесь горючих газов взрывоопасна.

Пример. Определить способность к взрыву смеси горючих газов (%) при $C_1 - 3,0$; $C_2 - 2,0$; $C_3 - 1,0$ и кислорода (%) $O_2 = 12$. Выбрать способ предотвращения взрывов при ведении горноспасательных работ.

Решение. Сумма горючих газов согласно формулы (1) $C_G = 6\%$, а координаты треугольника способности к взрыву согласно формулам (2...4) следующие:

$$B_H = 5,4\%; B_B = 25,0\%; P_K = 8,0\%.$$

Так как $B_H < C_G < B_B$ и $O_2 > P_K$, то смесь горючих газов может быть взрывоопасной. Дополнительная проверка по формуле (5) и рис. 6.1 показывает, что точка X с координатами $C_G = O_2$ (6,0...12,0) находится внутри треугольника способности к взрыву при части метана $P_{CH_4} = 0,5$ и оксида углерода – 0,3.



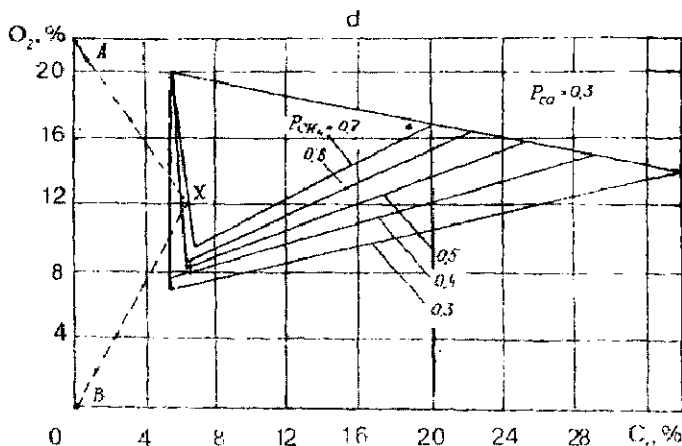


Рис. 6.1 Треугольники способности к взрыву: а – $PCO = 0$; б – $PCO = 0,1$; в – $PCO = 0,2$; г – $PCO = 0,3$

Предотвратить взрыв смеси горючих газов можно двумя способами:

- увеличением подачи воздуха на аварийный участок;
- путем заполнения участка инертными газами.

Тогда точка X переместится за границы треугольника способности к взрыву вдоль луча XA при первом способе или вдоль XB – при втором.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой расчетов суммарной концентрации газов и построения координат вершин треугольника способности к взрыву;
2. делать расчеты согласно формулам 1...5, исходные данные принять по табл. 6.1;
3. Оценить взрывоопасность смеси горючих газов по треугольнику способности к взрыву;
4. Выбрать образ предотвращения взрыва смеси горючих газов и результаты перемещения точки X нанести на график;

Содержание отчета

Студент представляет к защите отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

1. Тему лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Основные положения к определению способности к взрыву смеси горючих газов.
4. Таблица расчетов и график треугольника способности к взрыву для своего варианту с нанесенными координатами и точкой X .

5. Оценка взрывоопасности смеси горючих газов и выбор способа предотвращения взрыва.

Таблица 6.1. – Исходные данные для самостоятельной работы

№ варианта	Концентрация горючих газов, %				Сумма горючих газов C_G , %	Координаты треугольника способности к взрыву		
	метан C_1	оксид углерода C_2	водород C_3	кислород O_2		V_H	V_B	Π_K
1	3,0	3,0	1,0	10				
2	3,0	3,0	1,5	10				
3	3,0	2,0	1,5	11				
4	3,0	2,0	1,0	11				
5	4,0	2,0	2,0	12				
6	4,0	2,0	1,5	12				
7	4,0	2,0	1,0	12				
8	4,0	2,0	2,2	12				
9	3,0	2,0	2,1	12				
10	3,0	2,0	1,8	12				
11	3,0	2,5	1,5	10				
12	3,0	2,5	1,8	10				
13	3,0	2,5	1,0	11				
14	4,0	2,5	1,0	11				
15	4,0	2,5	2,0	11				
16	4,0	2,0	1,5	12				
17	3,5	2,0	1,5	12				
18	3,5	2,0	2,0	12				
19	3,5	2,0	1,0	12				
20	3,5	2,0	1,8	12				
21	3,0	2,5	1,5	11				
22	3,0	2,5	1,0	11				

Прим.: правая часть таблицы предназначена для записи вычисленных значений C_G , V_H , V_B , Π_K .

Вопросы для самопроверки

1. Из каких газов состоит шахтный газ?
2. При каких концентрациях метана, этана, водорода смесь становится взрывоопасной?
3. Как определяется степень взрывоопасности смеси газов по формуле Ле-Шаталье?
4. Что такое треугольники взрывоопасности (взрываемости)?
5. Какие существуют способы оценки взрывоопасности?
6. Какими способами возможно предотвратить взрыв горючей смеси?

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Лабораторная работа 7.

Определение взрываемости метано-воздушной смеси

Цель работы:

- использовать теоретические знания для определения способности к взрыву метано-воздушной смеси;
- приобрести умение и навыки построения треугольников способности к взрыву метано-воздушной смеси;
- сформировать умение выбора способа предотвращения взрывов при ведении горноспасательных работ.

Пределы взрываемости смесей метана с воздухом можно определить по «треугольнику взрываемости» (рис. 7.1). Треугольники взрываемости горючих газов строят по экспериментальным данным, полученным на лабораторной установке. Эксперименты, проведенные со смесями газов показали, что взрывоопасные концентрации расположены в области, имеющей форму треугольника (область 2).

Из рис. 7.1 видно, что наблюдается постепенное сужение нижнего и верхнего пределов взрываемости смеси метана с воздухом вплоть до выхода в точку при объемной доле кислорода, равной 12,2 %. Это связано в цепным механизмом передачи теплового импульса зажигания. В области 3 для осуществления цепной реакции окисления недостаточно молекул метана, в области 4 – молекул кислорода.

Треугольник взрываемости для других горючих газов имеет тот же вид, что и для метана. Взрываемость смеси горючих газов при подземных пожарах также определяется с помощью треугольника взрываемости.

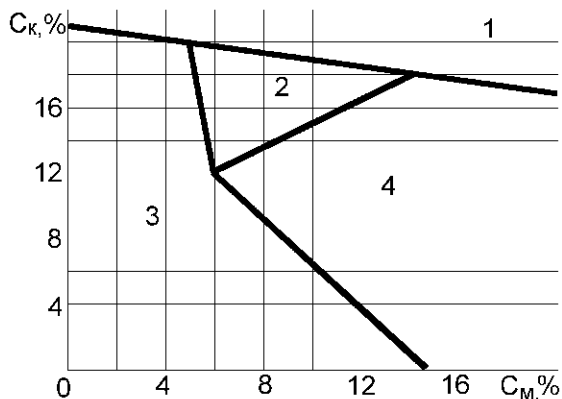


Рис. 7.1. Объемные пределы взрываемости метано-воздушных смесей: 1 – несуществующая смесь; 2 – взрывчатая смесь; 3 – невзрывчатая смесь; 4 – смесь, могущая стать взрывчатой при добавлении воздуха

Для оценки взрываемости смеси горючих газов вначале определяется общее содержание горючих газов (%). Для наиболее распространенных в угольных шахтах горючих газов используется формула:

$$C_{Г} = C_{М} + C_{O} + C_{В}, \quad (1)$$

где $C_{М}$, C_{O} , $C_{В}$ – концентрация соответственно метана, оксида углерода и водорода, %.

Затем рассчитывается доля каждого горючего газа в смеси:

$$P_{М} = C_{М} / C_{Г}; P_{O} = C_{O} / C_{Г}; P_{В} = C_{В} / C_{Г}. \quad (2)$$

Правильность расчета проверяется по соотношению:

$$P_{М} + P_{O} + P_{В} = 1. \quad (3)$$

По полученным данным определяется местонахождение данной смеси на соответствующем графике (рис. 7.2...7.7). В случае, если найденная точка находится внутри треугольника взрываемости, то газовая смесь может взорваться. Например, отбор проб газа из атмосферы пожарного участка показал, что газовая смесь содержит кислорода ($C_{К}$) 15 %, оксида углерода (C_{O}) 0 %, метана ($C_{М}$) 2,1 % и водорода ($C_{В}$) 1,4 %. По формуле (1) подсчитываем, что концентрация горючих газов ($C_{Г}$) равна 3,5 %. Доля оксида углерода в смеси горючих газов (P_{O}) равна 0, а доля метана ($P_{М}$) составляет 0,6. Поэтому данную точку X наносим на график рис. 7.2. Из графика видно, что точка X расположена вне треугольника взрываемости, но вблизи нижнего предела взрываемости смеси.

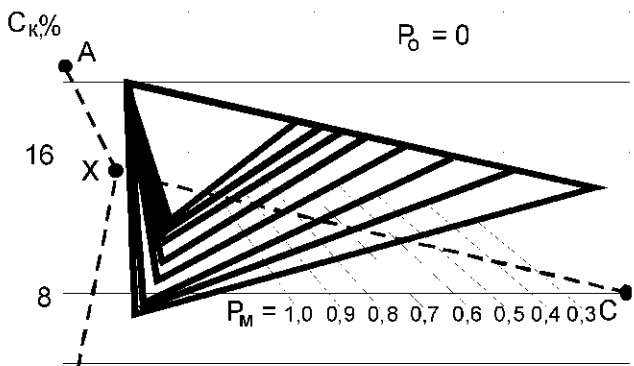


Рис. 5.2. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при отсутствии оксида углерода ($P_O = 0$)

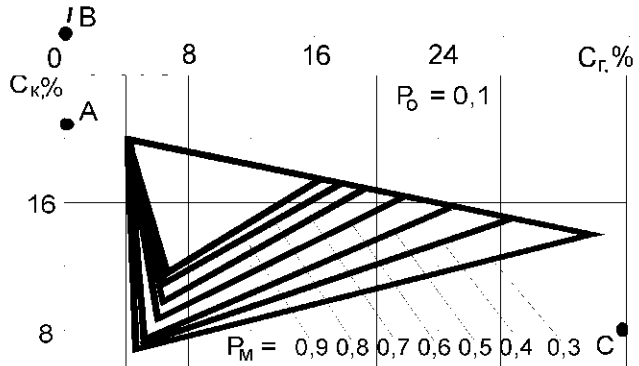


Рис. 5.3. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при доле оксида углерода 0,1

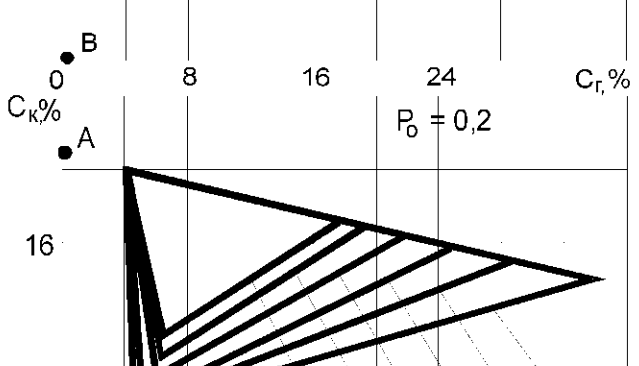
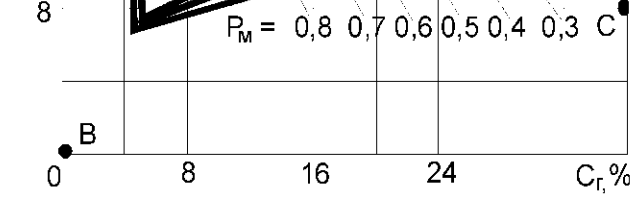


Рис. 5.4. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при доле оксида углерода 0,2



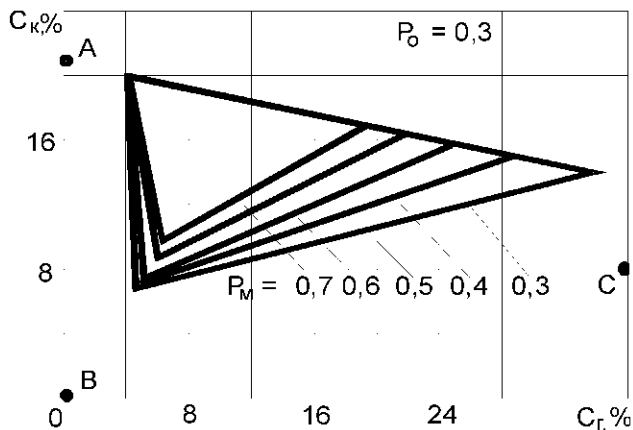


Рис. 5.5. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при доле оксида углерода 0,3

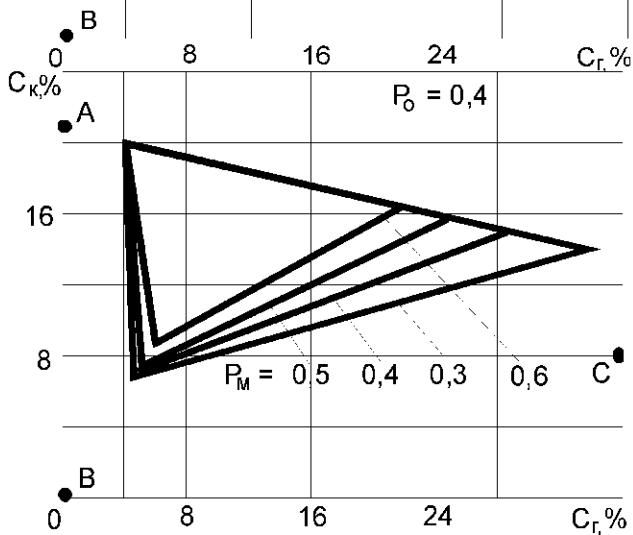


Рис. 5.6. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при доле оксида углерода 0,4

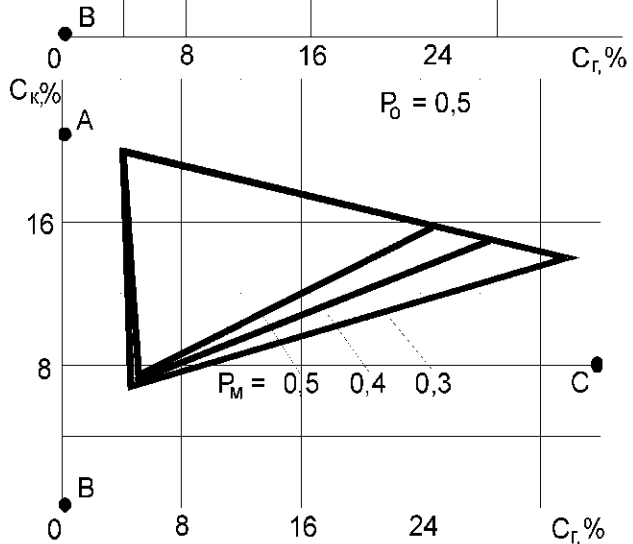


Рис. 5.7. Треугольники взрываемости смеси горючих газов при доле оксида углерода 0,5

Взрывы угольной пыли

Степень взрываемости горючей пыли зависит от размера пылинок, состава пыли (химического и минерального), выхода летучих продуктов при нагреве, наличия горючих газов в воздухе, влажности пыли и атмосферы, концентрации кислорода. Угольная пыль наиболее взрывчата при диаметре частиц 0,1...0,04 мм, для некоторых углей при размере 0,01...0,06 мм, хотя во взрыве участвует и более мелкая пыль, а также частицы размером до 1 мм. Угольная пыль не взрывается при содержании в ней 60...70 % золы или инертных частиц. Степень взрываемости угольной пыли связана с выходом летучих. Пыль становится взрывчатой при выходе летучих 10 % и более.

Пылегазовые смеси взрываются легче газоздушных. Это объясняется тем, что угольная пыль возгорается при температуре 300...365°C, а бурогоугольная при 200...230°C. Метановоздушная смесь самовоспламеняется при температуре около 500°C. Теплопередача во фронте горения пылегазовоздушной смеси от слоя к слою ускоряется благодаря излучению. Нижний предел взрывчатости для пылегазовых смесей значительно снижается. Величина взрывоопасной концентрации угольной пыли понижается по мере роста содержания метана в воздухе.

Объемная доля метана, %	0,5	1	2	3
Концентрация угольной пыли в воздухе, г/м ³	30	20	10	5

Наиболее взрывчата сухая угольная пыль (влажность 2...3 %). При взрыве сгорание угольных частиц происходит на 20...40 %. Нижний предел концентрации кислорода для взрыва пылеугольной-метановоздушной смеси составляет около 16 %.

Места взрывов пылегазовых смесей следующие:

- очистные забои – около 20 %;
- подготовительные забои – 51 %;
- прочие действующие выработки – 14 %;
- выработанное пространство – более 11 %.

Причиной образования взрывоопасной пылевоздушной смеси является высокая твердость и хрупкость горных пород, приводящие к интенсивному пылеобразованию. Увеличивает пылеобразование и то, что угольная пыль обладает высокой взрываемостью и низкой смачиваемостью. Интенсивное проветривание также способствует росту запыленности.

Взрывы серной и сульфидной пыли происходят только от теплового и механического импульсов, создаваемых взрыванием ВВ.

При горении метановоздушной смеси (взрыве) образуется окись углерода – до 8,5 % и водород – до 10 %. Взрывы угольной пыли, как правило, инициируются взрывом метана.

По мере увеличения длины пробега фронта пламени наблюдается на-

растание давления в ударной волне. Поэтому наибольшие разрушения будут не в местах возникновения воспламенения и взрыва, а на границе очага аварии. Значительные механические повреждения наблюдаются также в местах большого гидравлического сопротивления (повороты, сужения, расширения и т.д.).

Вопросы для самопроверки

1. Как определить способность к взрыву метано-воздушной смеси?
2. Постройте треугольники способности к взрыву метано-воздушной смеси.
3. Перечислите способы предотвращения взрывов при ведении горноспасательных работ.

Рекомендуемая литература [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Литература

1. Эквист Б.В., Теория горения и взрыва : учебник / Эквист Б.В. - М. : МИСиС, 2018. - 180 с. - ISBN 978-5-906953-90-2 - Текст : электронный // ЭБС «Консультант студента» : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785906953902.html>
2. Муравьева С.Б., Сухов С.С. Теория горения и взрыва. Брянск: РИО БГУ, 2016. — 174 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2062031/>
3. Евдокимов А.А., Кисс В.В. Процессы горения и взрыва, Учебно-методическое пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 40 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2174491/>
4. Катин В.Д., Нестеров В.И., Шевцов М.Н. Основы теории горения газов, Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ), 2017. — 130 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/2436280/>
5. Липкович И.Э., Петренко Н.В., Орищенко И.В. Теория горения и взрыва, Учебное пособие для практических занятий. – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2014. – 120 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1600989/>
6. Ивахнюк Г.К., Малинин В.Р., Хмелева В.А., Поляков А.И. Теория горения и взрыва, Учебное пособие, Санкт-Петербургский государственный Технологический институт, Санкт – Петербург, 2013 г., 178 стр. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1827254/>
7. Бабокин И.А. Управление безопасностью труда на горном предприятии. -М.: Недра, 1989. -251 с.
8. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело. - М.: Недра, 1979. -419 с.
9. Инструкция по применению дегазации при пожарах. М.: Недра, 1982. -36 с.
10. Пашковский, П.С., Лебедев, В.И. Проветривание шахт при подземных пожарах. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с. – ISBN 978-966-2555-05-9.
11. Тушение подземных пожаров на угольных шахтах. – М.: Недра, 1977. – 248 с.
12. Ликвидация аварий в угольных шахтах. Теория и практика / В.В. Радченко, С.Н. Смоланов, Г.М. Алейникова и др. – Киев: Техника, 1999. – 320 с.

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам
по дисциплине
«ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА»
для студентов направления подготовки
44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

С о с т а в и т е л ь:
Валентин Иванович Сафонов

Печатается в авторской редакции.
Компьютерная верстка и оригинал-макет автора.

Подписано в печать _____
Формат 60x84¹/₁₆. Бумага типограф. Гарнитура Times
Печать офсетная. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____
Тираж 100 экз. Изд. № _____. Заказ № _____. Цена договорная.

Издательство Луганского государственного
университета имени Владимира Даля

Свидетельство о государственной регистрации издательства
МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

Адрес издательства: 91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а
Телефон: 8 (0642) 41-34-12, **факс:** 8 (0642) 41-31-60
E-mail: uni@snu.edu.ua **http:** www.snu.edu.ua