




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**


«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП  
«Профилактика и тушение природных пожаров»

  
(подпись) Олишевский А.Т.  
«29» 09 2015 г.  
(Ф.И.О. рук. ОП)

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Безопасность в чрезвычайных ситуациях и защиты  
окружающей среды  
(название кафедры)

  
(подпись) проф. Петухов В.И.  
«29» 09 2015 г.  
(Ф.И.О. зав. каф.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Профилактика и тушение подземных пожаров  
**Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность**  
Специализация «Профилактика и тушение природных пожаров»  
**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7  
лекции 36 час.  
практические занятия 36 час.  
лабораторные работы 0 час.  
в том числе с использованием МАО лек. 6 /пр. 0/лаб. 0 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 72 час.  
в том числе с использованием МАО 6 час.  
самостоятельная работа 72 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 27 час.  
контрольные работы 0  
курсовая работа/курсовой проект – не предусмотрен  
зачет - не предусмотрен  
экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 17.08.2015 № 851

Рабочая программа дисциплины обсуждена на заседании кафедры безопасности в чрезвычайных ситуациях и защиты окружающей среды, протокол от 29.09.2015 г. № 1.

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Петухов В.И.  
Составитель: доцент Черныш О.Г.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.И Петухов  
(подпись)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.И Петухов  
(подпись)

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Профилактика и тушение подземных пожаров»**

Дисциплина предназначена для специалистов специальности **20.05.01** «Пожарная безопасность» образовательная программа «Профилактика и тушение природных пожаров». Дисциплина «Профилактика и тушение подземных пожаров» является дисциплиной базовой части Блока 1 Дисциплины (модули) (согласно учебному плану – Б1.Б.67) Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (36 часов), самостоятельная работа (36 часов, в том числе на подготовку к экзамену 27 часов). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре. Форма контроля – экзамен.

Содержание дисциплины охватывает следующий круг вопросов:

виды пожаров на горных предприятиях, их особенность и опасность для людей; причины возникновения пожаров и условий их протекания; факторы, влияющие на эндогенную пожароопасность горных предприятий; принципы и способы обнаружения очагов пожаров на различных стадиях развития; способы локализации и тушения возникших очагов пожаров; оборудование для локализации и тушения пожаров на горных предприятиях;

Предшествующие дисциплины, на основе которых базируется изложение материала дисциплины - «Теория горения и взрыва», «Прогнозирование опасных факторов пожара», «Здания и сооружения и их устойчивость при пожаре».

**Цель** преподавания дисциплины – дать будущим специалистам теоретические и практические знания, необходимые для создания условий, снижающих вероятность возникновения пожаров на горных предприятиях, разработки и реализации мер защиты человека и промышленного оборудования в случае возникновения пожара;

### **Задачи дисциплины:**

- изучение видов пожаров на горных предприятиях, их особенность и опасность для людей;
- изучение причин возникновения пожаров и условий их протекания;
- анализ факторов, влияющих на эндогенную пожароопасность горных предприятий;
- изучение принципов и способов обнаружения очагов пожаров на различных стадиях развития;
- изучение способов локализации и тушения возникших очагов пожаров;
- изучение оборудования для локализации и тушения пожаров на горных предприятиях;
- изучение деятельности военизированных горноспасательных частей при борьбе с пожарами.

Для успешного изучения дисциплины «Профилактика и тушение подземных пожаров» у обучающихся должны быть сформированы следующие компетенции:

- способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации последствий ЧС (ПК-17);

знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной (ПК-18).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций).

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
ПК-17, способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при	знает	опасные факторы пожара (ОФП), возникающие при тушении пожаров, требования по охране труда (ОТ).
	умеет	применять специальную пожарную технику и оборудование, предназначенным по тушения пожаров
	владеет	специальной пожарной техникой и оборудованием, предназначенным по тушения пожаров

ликвидации последствий ЧС		
ПК-18, знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной	знает	конструкции и технических характеристики пожарной и аварийно-спасательной техники
	умеет	практически работать на основной пожарной и аварийно-спасательной технике.
	владеет	правилами безопасной эксплуатации и ремонта пожарной и аварийно-спасательной техники.

Для формирования вышеуказанной компетенции в рамках дисциплины «Профилактика и тушение подземных пожаров» применяются следующие методы интерактивного обучения: презентация, проблемная лекция, семинар, реферат, доклад-обсуждение.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов)**

### **Раздел 1. Сведения о пожарах на горных предприятиях (4 часа).**

**Тема 1. Опасность пожаров на горных предприятиях и причины их возникновения (2 часа).**

Анализ аварийности в горнодобывающей промышленности России. Причины, осложняющие ведение горноспасательных работ. Общие положения о подземных пожарах. Виды подземных пожаров. Способы борьбы с рудничными пожарами.

**Тема 2. Процессы горения (2 часа).**

Понятия вспышки и воспламенения. Режимы горения. Химические процессы при горении.

### **Раздел 2. Экзогенная пожароопасность горных предприятий (5 часов).**

**Тема 1. Развитие пожаров в горизонтальных выработках с горючей крепью (1 час).**

Факторы, влияющие на интенсивность развития пожара. Пожарная нагрузка конвейерных выработок. Структура пожара в горных выработках.

Параметры, характеризующие подземный пожар. Факторы, повышающие опасность подземных пожаров.

**Тема 2. Особенности пожаров в выработках, оборудованных ленточными конвейерами (1 час).**

Источники загорания конвейерных лент. Причины загорания при ведении ремонтных работ. Опасность для людей токсичных газообразных продуктов, выделяющихся при горении ленточных конвейеров.

**Тема 3. Предупреждение пожаров от электрического тока (1 час).**

Причины воспламенения горючих материалов в подземных выработках, где проложены кабельные сети. Определение безопасного времени отключения открытого дугового короткого замыкания.

**Тема 4. Основные схемы развития пожаров в протяжённых горных выработках (1 час).**

Пожар на приводной станции ленточного конвейера от пробуксовки ведущего барабана при разрыве ленты. Развитие пожара на линейной части ленточного конвейера от нагретого ролика. Особенности развития пожара на ленточном конвейере в выработке с негорючей крепью. Пожар в выработке от выброса горящего масла из турбомуфты на ленту конвейера и крепь.

**Тема 5. Основные схемы развития пожаров в тупиковых горных выработках (1 час).**

Развитие пожара на протяжении тупиковой горной выработки. Развитие пожара в забое тупиковой выработки. Требования к огнестойкости крепи горных выработок.

**Раздел 3. Особенности возникновения и развития эндогенных пожаров (4 часа)**

**Тема 1. Эндогенная пожароопасность угольных шахт. Локализация мест возникновения пожара (1 час).**

Необходимость комплексного применения способов прогноза, обнаружения, профилактики, тушения и локализации очагов самовозгорания. Условия развития процесса самовозгорания материала. Причины, препятствующие предупреждению эндогенных пожаров.

**Тема 2. Факторы пожароопасности на угольных предприятиях (1 час).**

Скопления угля при разрушении охранных, барьерных, аварийных и других целиков в выработанном пространстве. Рецидивы пожаров. Факторы, влияющие на химическую активность угля. Влияние главных горно-геологических и горнотехнических факторов на эндогенную пожароопасность шахт.

**Тема 3. Процесс самовозгорания углей (2 часа).**

Теории самовозгорания углей. Пиритная теория. Бактериальная теория. Фенольная теория. Теория комплекса уголь-кислород. Закономерности низкотемпературного окисления и самонагревания угля. Механизм процесса перехода самонагревания угля в его самовозгорание.

**Раздел 4. Обнаружение пожаров на горных предприятиях (4 часа).**

**Тема 1. Признаки рудничных пожаров и методы их обнаружения (1 час).**

Физиологические методы распознавания пожаров. Химико-аналитические методы. Минералого-геохимические методы. Физические методы обнаружения.

**Тема 2. Оценка температуры очага самовозгорания. (1 час).**

Существующие методики оценки температуры недоступных очагов самовозгорания по соотношению пожарных газов.

**Тема 3. Определение очагов пожара в выработанном пространстве (1 час).**

Ликвидация очагов эндогенных пожаров по приповерхностному составу горючих газов. Методика проведения газовой съёмки приповерхностного состава горючих газов. Проблемы обнаружения очагов подземных пожаров.

#### **Тема 4. Прогноз эндогенной пожароопасности выемочных полей и участков (1 час).**

Основные задачи прогноза. Определение склонности угля к самовозгоранию. Метод прогноза эндогенной пожароопасности, основанный на оценке химической активности угля; горно-статистический и комбинированные методы, основанные на учёте горно-технических и природных факторов.

Группирование шахтопластов угля по степени эндогенной пожароопасности.

### **Раздел 5. Предупреждение подземных пожаров (3 часа).**

#### **Тема 1. Снижение пожарной опасности горных выработок (1 час).**

Применение специальных огнезащитных составов для снижения пожароопасности шахтной деревянной и комбинированной крепи. Шахтные пожарно-оросительные сети и противопожарные двери. Первичные средства пожаротушения в шахте.

#### **Тема 2. Основные направления предупреждения эндогенных пожаров (1 час).**

Заиливание выработанных пространств глинистой пульпой. Предупреждение эндогенных пожаров с помощью антипирогенов. Пенный способ предупреждения эндогенных пожаров. Профилактические меры, обеспечивающие предупреждение эндогенных пожаров в пластах угля, склонного к самовозгоранию.

#### **Тема 3. Пожарно-профилактические мероприятия по предупреждению экзогенных пожаров (1 час).**

Основные меры пожарной профилактики экзогенных пожаров. Подготовка шахты к ликвидации пожара.



## **Раздел 6. Огнегасящие вещества, средства и способы тушения пожаров в угольных шахтах (4 часа).**

### **Тема 1. Способы тушения пожаров. Огнегасительные вещества (2 часа).**

Активные, пассивные и комбинированные способы тушения подземных пожаров. Применение пены при тушении подземных пожаров. Применение инертных газов. Организация контроля газовой обстановки на аварийном участке. Классификация и состав огнетушащих и взрывоподавляющих порошков.

### **Тема 2. Средства тушения пожаров (2 часа).**

Классификация средств по виду огнетушащего вещества на технические средства водяного, порошкового, пенного тушения, а также инертизации среды и комбинированного тушения.

Классификация средств пожаротушения по назначению и конструктивному исполнению (огнетушители, мобильные установки и средства и группу автоматизированных установок и систем пожаротушения).

Средства первичного пожаротушения, средства, предназначенные для тушения развитых пожаров и по их характеру воздействия на очаг (непосредственное, дистанционное, дистанционного объёмного тушения), а также длительности действия огнетушащего заряда, массе, габаритам и т.д.

## **Раздел 7. Тушение подземных пожаров (8 часов).**

### **Тема 1. Активное тушение экзогенных пожаров (2 часа).**

Классификация способов, отличающихся механизмом пожаротушения. Схемы активного тушения пожаров в выработках. Тушение водой. Инертизация рудничной атмосферы при тушении пожаров в горных выработках. Применение парогазовой смеси при тушении пожаров. Ликвидация пожаров с применением углекислого газа.

**Тема 2. Способ изоляции пожарных участков. Комбинированное тушение пожаров (2 часа).**

Выбор места возведения перемычки. Временные и постоянные перемычки. Взрывоустойчивые перемычки. Условия, при которых пожар считается изолированным. Причины низкой эффективности тушения пожаров методом изоляции. Технологические схемы возведения изолирующих полос из карбамидного пенопласта для сокращения утечек воздуха через выработанное пространство.

### **Тема 3. Локализация и тушение эндогенных пожаров в выработанном пространстве (2 часа).**

Причины сложности борьбы с пожарами в выработанном пространстве. Применение пены. Технология предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров в действующих выемочных полях и участках с помощью инертной пены. Типовые технологические схемы.

### **Тема 4. Применение заиливания, инертных газов и затопления для тушения пожаров (2 часа).**

Способ заиливания при борьбе с труднодоступными очагами. Недостатки способа. Применение инертных газов для тушения и локализации. Затопление пожарного участка.

Контроль над эндогенными пожарами, их списание и вскрытие пожарного участка.

## **Раздел 8. Контроль эффективности профилактики, локализации и тушения эндогенных пожаров (2 часа).**

### **Тема 1. Контроль ранних признаков самовозгорания угля и определение стадий эндогенного пожара (1 час).**

Признаки самонагревания угля. Контроль оксида углерода, диоксида углерода, кислорода, водорода, предельных и непредельных углеводородов, температуры воздуха, пород и воды. Фон индикаторных газов. Определение стадий эндогенного пожара. Выбор контрольных точек и периодичность наблюдений

## **Тема 2. Определение стадий развития и затухания эндогенных пожаров по соотношению непредельных углеводородов (1 час).**

Определение температуры угля по соотношению этилена и ацетилена. Контроль над развитием процесса самовозгорания угля и тушением эндогенных пожаров по соотношению содержания этилена и ацетилена. Использование результатов контроля.

## **Раздел 9. План ликвидации аварий на шахтах (ПЛА) (2 часа).**

### **Тема 1. Цели и задачи разработки ПЛА. Сценарии разработки. (1 час).**

Материалы, необходимые для составления ПЛА. Оперативная часть ПЛА и необходимая графическая документация. Ответственность за составление ПЛА.

### **Тема 2. Структурные позиции ПЛА (1 час).**

Основная структурная часть ПЛА. Атрибуты позиции. Текстовое содержание позиции. Выбор аварийного вентиляционного режима. Позиции оперативной части выработки и участки, относящиеся к опасным.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (36 час.)**

#### **Занятие 1. Общие сведения о тушении подземных пожаров (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с основными способами и средствами тушения подземных пожаров, планированием работ по тушению подземных пожаров.

Экзогенные и эндогенные пожары. Вентиляционные режимы при тушении подземных пожаров. Способы тушения подземных пожаров. Тушение активным способом. Особенности тушения пожаров в зависимости от вида огнетушащих веществ. Особенности тушения в зависимости от вида горящего материала. Особенности тушения пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли. Особенности тушения пожаров в зависимости от места их возникновения. Планирование работ по тушению подземных пожаров. Разработка оперативных

планов тушения пожаров при тушении пожара в тупиковой выработке. Оценка эффективности применения пожаротушающих средств.

## **Занятие 2. Определение группы пожароопасности и инкубационного периода самовозгорания угля (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методикой определения основных показателей пожароопасности угля на основании аналитического решения задачи самовозгорания.

Расчет выполняется с использованием универсального комплексного показателя пожароопасности, разработанный на основе математической модели низкотемпературного окисления органических веществ и использования данных анализа большого числа пожаров, происшедших в различных горно-геологических условиях.

Методика расчета позволяет определить:

- склонность шахтопластов к самовозгоранию;
- группу пожароопасности;
- продолжительность инкубационного периода;
- пороговое значение критерия склонности углей к самовозгоранию.

### Исходные данные для расчета:

$V^r$  – массовая доля летучих веществ в угле, %;

$m$  – толщина скопления вещества, м;

$J$  – газоносность угля, моль/м<sup>3</sup>;

$W$  – концентрация влаги в угле, моль/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность угля, кг/м<sup>3</sup>;

$C_0$  – начальная концентрация кислорода в межкусковом пространстве, моль/м<sup>3</sup>;

$k_{кр}$  – константа скорости окисления угля, с<sup>-1</sup>;

$q_{др}$  – теплота дросселирования метана из угля, Дж/моль;

$q_в$  – константа скорости испарения влаги, Дж/моль;

$c_v$  – теплоемкость материала (угля) при постоянном объеме, Дж/(кг·К);

$T_{кр}$  – критическая температура самовозгорания угля, К;

$T_o$  – начальная температура угля, К;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

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

**Пример задания.** Определить группу пожароопасности скопления угля для пласта  $l_1$  и инкубационный период его самовозгорания при исходных данных:  $V^e = 9 \%$ ;  $m = 0,4$  м;  $J = 625$  моль/м<sup>3</sup>;  $W = 2489$  моль/м<sup>3</sup>;  $\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_o = 9,36$  моль/м<sup>3</sup>;  $k_{кр} = 2 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>;  $q_{ор} = 15000$  Дж/моль;  $q_с = 1445,8$  Дж/моль;  $k_с = 1,07 \cdot 10^5$  с<sup>-1</sup>;  $c_v = 1400$  Дж/(кг·К);  $T_{кр} = 380$  К;  $T_o = 300$  К;  $\alpha = 0,072$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda = 0,3$  Вт/(м·К);  $a = 1,5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

### **Занятие 3. Определение параметров подземного пожара (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с графическим и аналитическим методами оценки основных параметров развития подземного пожара.

1. Экспресс-метод определения параметров развития пожара. Данный метод используется только в тех случаях, когда для практических целей не требуется точного определения параметров развития пожара, или когда для точных расчетов нет времени.

Методика расчета экспресс методом позволяет определить:

- скорость распространения пожара на момент начала его тушения;
- дальность распространения пожара к моменту начала его тушения.

Исходные данные для расчета:

$V_с$  – скорость вентиляционного потока в выработке, м/с;

$\tau$  – продолжительность действия пожара, мин;

вид источника воспламенения;

вид основных горючих материалов в выработке.

**Пример задания.** Определить скорость и дальность распространения пожара к моменту начала его тушения при следующих исходных данных:  $V_с = 2$  м/с;  $\tau = 80$  мин. Вид основных горючих материалов в выработке: горючая

конвейерная лента, горючая затяжка с негорючими стойками и верхняками (смешанная крепь).

2. Расчетный метод определения параметров развития пожара. Данная методика расчета позволяет определить:

- скорость распространения пожара в момент начала тушения;
- дальность распространения пожара на этот же момент;
- температуру горючих газов в очаге пожара;
- температуру в выработке на заданном расстоянии за очагом пожара;
- площадь горящей поверхности;
- расход материала на горение в единицу времени.

Исходные данные для расчета

$V_g$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с

$S$  – площадь сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>

$t$  – время действия пожара, мин.

$T_o$  – температура поступающего в зону горения воздуха, °С

$C_o$  – концентрация кислорода на свежей струе, %

$C$  – концентрация кислорода на исходящей, %

$P$  – периметр выработки, м

Вид и количество горючих материалов в выработке.

Вид и материал крепи.

**Пример задания.** Оценить параметры подземного пожара в 6-м южном конвейерном штреке на начальной стадии ( $\tau_o$ , расчетные параметры:  $V_{np}$ ,  $L_n$ ,  $S_{\Gamma}$ ) и развившегося ( $\tau_1$ ) при следующих исходных данных:  $V_g = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $\tau_o = 15$  мин;  $\tau_1 = 80$  мин;  $t_o = 25$ °С;  $C_o = 21\%$ ;  $C = 4,4\%$ ;  $L_o = 100$  м;  $P = 11,4$  м;  $Q = 1080$  м<sup>3</sup>/мин. Вид горючих материалов в выработке: резиноканевая конвейерная лента шириной  $B_l = 1000$  мм), уголь (КЛ+У);  $b = 120$  мин (КЛ с негорючей крепью, табл. 4). Схема проветривания выемочного участка (рис. 5): 2–М–Н–в–вт (см. пояснения в прил. 1, табл. 1).

## **Занятие 4. Расчет параметров тушения пожара сплошными водяными струями (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров тушения пожаров сплошными водяными струями.

*1. Расчетный метод определения параметров тушения пожара сплошными струями.*

Данная методика используется при расчете параметров тушения пожарными стволами без подключения других потребителей к этому же трубопроводу и позволяет определить:

- количество одновременно работающих стволов;
- площадь одновременного тушения;
- длину заходки одновременного тушения;
- скорость тушения;
- продолжительность тушения.

### Исходные данные для расчета

$Q_1$  – фактический расход воды в ПОТ в месте забора воды, м<sup>3</sup>/ч.

$P_u$  – динамическое давление в ПОТ в месте забора воды, МПа (кг·с/см<sup>2</sup>).

$d$  – диаметр насадка пожарного ствола, мм.

$S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>.

$B_l$  – ширина конвейерной ленты, м.

**Пример задания 1.** Рассчитать параметры тушения пожара в конвейерном уклоне сплошными водяными струями для следующих условий:  $Q_1 = 105$  м<sup>3</sup>/ч;  $P_u = 0,7$  МПа (7 кг·с/см<sup>2</sup>);  $n = 2$ ;  $d_c = 19$  мм;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $V_g = 2$  м/с;  $\tau = 60$  мин. Выработка оборудована резиноватросовой лентой шириной  $B_l = 1$  м и закреплена негорючей крепью.

*2. Расчет рукавных линий для работы пожарных стволов.*

Данная методика позволяет определить допустимую длину рукавной линии и напор перед пожарным стволом при трех различных схемах монтажа.

### Исходные данные для расчета

$S$  – сопротивление пожарного ствола, м (с/л)<sup>2</sup>;

$H_0$  – статический напор в месте подсоединения рукава, м;

$H_3$  – напор при расходе в месте подсоединения рукава, м;

$H_c$  – напор перед пожарным стволом, м.

$R$  – сопротивление измерительного ствола СМ;

$\alpha$  – угол наклона рукавной линии, град;

$i$  – номер пожарного ствола или ветви в рукавной линии;

$L$  – достижимая длина рукавной линии.

**Пример задания 2.** Проложить рукавную линию вверх по наклонной выработке с углом наклона  $15^\circ$ . Измеренные параметры в месте подключения равны:  $H_0 = 150$  м;  $H_3 = 100$  м.

Измерение проведено стволом специальным СМ с диаметром насадка 22 мм. В наличии имеются рукава обычные прорезиненные  $d_{рук} = 66$  мм и пожарный ствол  $d_{см} = 19$  мм.

**Занятие №5. Расчет параметров тушения и локализации подземного пожара распыленными водными струями (водяная завеса) (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров тушения подземного пожара распыленными водяными струями.

*1. Расчет параметров водяной завесы, создаваемой водоразбрызгивателем ВВР-1.*

Данная методика позволяет определить:

- количество оросителей (насадок) в одном эшелоне  $n$ ;
- количество эшелонов в выработке  $N$  (расстояние между эшелонами 3-5 м);
- температуру продуктов горения после прохождения водяной завесы  $T$ ;
- предельно допустимую длину рукавной линии для подключения ВВР;
- динамическое давление в конце рукавной линии;
- фактический расход воды в конце рукавной линии;



- необходимый начальный напор в месте подключения рукавной линии определенной длины для подключения ВВР-1 с нормативными характеристиками.

Исходные данные для расчета

$Q$  – расход воды в ПОТ в месте установки водяной завесы, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_n$  – нормативный расход воды при устройстве водяной завесы, м<sup>3</sup>/ч.

$S$  – площадь сечения выработки в месте установки завесы, м<sup>2</sup>;

$V_g$  – скорость движения воздуха в месте установки водяной завесы, м/с;

$d_{op}$  – диаметр проходного отверстия оросителя, мм (для водоразбрызгивателя ВВР-1, УЛПП-2  $d_{op} = 16$  мм);

$P_u$  – динамическое давление в ПОТ в месте подключения рукавной линии, МПа.

$L$  – длина проложенной рукавной линии, м.

$d_p$  – диаметр пожарных рукавов, мм,  $d_p = 66$  мм.

**Пример задания 1.** Рассчитать параметры водяной завесы, устраиваемой в аварийном конвейерном уклоне, и определить потерю давления воды на конце рукавной линии при ее устройстве для следующих условий:  $Q = 60$  м<sup>3</sup>;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $V_g = 2$  м/с;  $d_{op} = 16$  мм;  $P_u = 0,9$  МПа;  $L = 200$  м. Конвейерный уклон закреплен трудногорючей крепью.

**2. Расчет параметров тушения и локализации подземного пожара на приводной части ленточного конвейера с помощью автоматических систем водяного пожаротушения (АСВП).**

Методика позволяет определить:

- параметры тушения и локализации пожара на приводной части ленточного конвейера;
- эффективность локализации пожара.

Исходные данные для расчета

$L_{op}$  – длина участка орошения АСВП;

$q_n$  – удельная суммарная пожарная нагрузка, кг/м;

$Q_n$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки в выработке, кДж/кг;

$k_t$  – коэффициент нестационарного теплообмена между стенками выработки и газовым потоком, кДж/(м<sup>2</sup>·с·°С);

$F_{cm}$  – общая площадь поверхности выработки в зоне горения, участвующая в отборе теплоты, м<sup>2</sup>;

$P_\delta$  – периметр поперечного сечения выработки, м;

$\tau_{вг}$  – время выгорания пожарной нагрузки в сечении выработки, с;

$V_{вгi}$  – скорость выгорания  $i$ -го вида пожарной нагрузки, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\beta$  – степень выгорания горючих материалов конвейерных лент в шахтных условиях;

$d_k$  – средний диаметр капли воды в завесе, мм;

$P_{op}$  – давление воды перед оросителем, МПа;

$l_\phi$  – длина факела распыленной воды, формируемой оросителем установки, м;

$h_{op}$  – высота размещения оросителя установки над поверхностью ТГМ в выработке, м;

$\rho_{ж}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\theta$  – угол распыления, град;

$C_{pm}$  – удельная теплоёмкость материала конвейерной ленты, кДж/кг·К;

$C_{pж}$  – удельная теплоёмкость воды, кДж/кг·К;

$C_{pg}$  – удельная теплоёмкость газовоздушного потока, кДж/(кг·К);

$\rho_{ж}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_g$  – плотность газообразных продуктов горения пожарной нагрузки, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{во}$  – температура воды в пожарно-оросительном трубопроводе, °С;

$t_{исп}$  – температура воды в завесе при испарении, °С;

$\omega$  – площадь поперечного сечения проходного канала (сопла) оросителя, м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина конвейерной ленты, м;

$r$  – удельная теплота парообразования воды, кДж/кг.

**Пример задания 2.** В условиях ПРЗ.2 рассчитать параметры тушения и локализации пожара на приводной части ленточного конвейера при использовании автоматической установки УВПК-Б при следующих исходных данных:

- параметры конвейерной выработки:  $S_g = 9 \text{ м}^2$ ;  $P_g = 11,4 \text{ м}$ ;  $V_g = 2 \text{ м/с}$ ;
- параметры и условия работы установки автоматического пожаротушения УВПК-Б:  $P_{op} = 0,3 \text{ МПа}$ ;  $L_{op} = 18 \text{ м}$ ,  $N_{op} = 11$ ;  $\omega = 0,01 \text{ м}$ ,  $\theta = 80^\circ$ ;  
 $l_\phi = 5 \text{ м}$ ;  $h_{op} = 2 \text{ м}$ .

### **Занятие №6. Параметры тушения пожара огнетушащими порошками (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками дистанционного тушения подземного пожара порошковыми средствами пожаротушения.

#### *1. Дистанционное тушение пожара с использованием порошковых огнетушителей*

Данная методика расчета позволяет определить:

- количество применяемых огнетушителей.

#### Исходные данные для расчета

$V_g$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с.

$S$  – площадь сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;

$L_n$  – дальность распространения пожара, м;

$S_T$  – площадь горячей поверхности;

вид горючих материалов в выработке;

система проветривания.

Основными параметрами тушения подземных пожаров ручными огнетушителями и передвижными установками являются:

дальность эффективного действия огнетушителя (установки)  $L_y$ ;

площадь тушения  $S_T$ ;

продолжительность непрерывного действия  $\tau_T$ .

**Пример задания 1.** В условиях ПР3.2 определить количество огнетушителей в партии, необходимое для тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке в начальной стадии развития. Исходные данные:  $V_6 = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $S_T = 8,2$  м<sup>2</sup>;  $L_n = 4,1$  м,  $\tau = 20$  мин.

**Пример задания 2.** В условиях ПР3.2 определить количество огнетушителей в двух партиях необходимое для тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке в начальной стадии развития. Исходные данные:  $V_6 = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $S_T = 8,2$  м<sup>2</sup>;  $L_n = 4,1$  м,  $\tau = 20$  мин.

## 2. Расчет параметров дистанционного тушения пожара порошковыми установками

Данная методика позволяет определить:

- дальность эффективного действия пожаротушащей установки  $l_T$ ;
- продолжительность тушения  $\tau_T$ ;
- массу порошка для ликвидации пожара  $M$ .

### Исходные данные для расчета

$A$  – расход порошка установкой:

для сквозных выработок: МГППУ – 2-2,5 кг/с; ППУ – 4-5 кг/с;

при подаче по вентиляционному трубопроводу: МГППУ – 1-1,3 кг/с;  
ППУ – 2-2,5 кг/с;

$L_n$  – дальность распространения пожара на начало дистанционного тушения, м;

$L_o$  – расстояние от места выброса порошка в выработку до места возникновения пожара, м;

$V_c$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с;

$S$  – сечение аварийной выработки, м<sup>2</sup>;

$Q$  – расход воздуха в тупиковой выработке, м<sup>3</sup>/мин.

**Пример задания 3.** В условиях ПР3.2 рассчитать параметры дистанционного тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке

порошковыми установками при следующих исходных данных:  $L_n = 58,1$  м;  $L_o = 30$  м;  $V_c = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $Q = 1080$  м<sup>3</sup>/мин;  $\tau = 80$  мин.

### **Занятие №7. Параметры тушения пожара пеной (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методикой определения параметров дистанционного тушения воздушно-механической пеной в сквозных горизонтальных и наклонных выработках.

1. *Определение параметров дистанционного тушения воздушно-механической пеной в сквозных горизонтальных и наклонных выработках*

Данная методика позволяет определить:

- продолжительность подачи пены в зону горения (продолжительность тушения);
- массу пенообразователя, необходимого для полной ликвидации пожара;
- дальность эффективного действия пеногенераторной установки.

#### Исходные данные для расчета

$S$  – сечение аварийной выработки, м<sup>2</sup>;

$V$  – скорость вентиляционного потока в выработке, м/с;

$L_n$  – дальность распространения пожара на начало тушения, м;

$T_n$  – температура стенок выработки до возникновения пожара, °С;

$A_n$  – производительность пеногенераторной установки, м<sup>3</sup>/с.

$K$  – кратность применяемой пены;

$\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности, Дж/(м<sup>2</sup>·°С);

$a$  – коэффициент температуропроводности горных пород, м<sup>2</sup>/с.

Вид горючих материалов в выработке, форма крепления.

*Пример задания.* В условиях ПРЗ.2 определить параметры дистанционного тушения развитого пожара в 6-м южном конвейерном штреке воздушно-механической пеной при следующих исходных данных:  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $V = 2$  м/с;  $L_n = 36$  м;  $t_n = 28$ °С;  $L_o = 100$  м. Выработка оборудована ленточным конвейером и закреплена смешанной крепью (металлокрепь с полной перетяжкой деревянной затяжкой). Вмещающие породы – песчаники.

## **Занятие № 8. Расчет подачи инертных газов в изолированный участок для тушения пожара (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методикой расчета параметров подачи инертного газа (парогазовая смесь) в изолированный участок для тушения подземного пожара.

### *1. Расчет параметров подачи парогазовой смеси в изолированный участок для тушения пожара*

Методика распространяется на участки, при изоляции которых в изолирующей перемычке в выработке на поступающей струе устроено два проема. К одному проему подсоединяется генератор инертных газов (ГИГ), а второй проем является вентиляционным. Выпуск газа может производиться при открытом или закрытом вентиляционном проеме.

Методика позволяет определить:

- интенсивность и длительность проветривания горных выработок парогазовой смесью для создания взрывобезопасных условий локализации пожара и ускорения его тушения;
- расход топлива для работы генератора в течение времени инертизации;
- продолжительность сохранения инертной среды в заданном пункте после выключения генератора;
- расстояние по ходу движения газа, на котором произойдет охлаждение парогазовой смеси до температуры, не более чем на 20°С превышающей температуру воздуха в выработках при нормальном режиме проветривания.

### Исходные данные для расчета

$q_{ин}$  – количество инертного газа, подаваемого к очагу пожара, м<sup>3</sup>/мин :

$k_2$  – коэффициент, учитывающий тип генератора;

$q_{пг}$  – количество генерируемой парогазовой смеси, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{вд}$  – суммарное количество воздуха, поступающего к очагу пожара одновременно с инертным газом, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{ум}$  – приток воздуха через неплотности в изолирующих перемышках, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_в$  – приток воздуха через вентиляционные проемы, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{min}$  – минимально допустимое количество смеси (газа и воздуха) по газовому фактору для проветривания аварийного участка, м<sup>3</sup>/мин;

$C_{ин}$  – содержание кислорода в инертном газе, %;

$C_{уч}$  – содержание кислорода в аварийном участке после подачи инертного газа, %.

$L$  – общая длина проветриваемых выработок участка по ходу движения парогазовой смеси, м;

$l_1, l_2 \dots l_n$  – длина проветриваемых выработок участка, м;

$S_1, S_2 \dots S_n$  – площадь поперечного сечения проветриваемых выработок участка, м<sup>2</sup>;

$П_1, П_2 \dots П_n$  – периметры выработок, по которым движется парогазовая смесь, м;

$n$  – число генераторов;

$m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$l_л$  – длина лавы, м;

$X_r$  – протяженность зоны распространения утечек воздуха через выработанное пространство, считая от лавы, м;

$\alpha$  – коэффициент, характеризующий воздухопроницаемость выработанного пространства, м<sup>-1</sup>;

$\xi$  – паспортный расход топлива для генератора, кг/ч.

**Пример задания 1.** Произвести расчет параметров тушения пожара с применением генератора инертных газов на выемочном участке (рис. 1) при следующих исходных данных:

$$C_{max} = 0,56\%; C_q = 2\%.$$

Параметры выработок:

конвейерный штрек:  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $P = 11,4 \text{ м}^2$ ;  $L = 325 \text{ м}$ ;

вентиляционный штрек:  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $P = 11,4 \text{ м}^2$ ;  $L = 360 \text{ м}$ ;

обводная выработка:  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $P = 11,4 \text{ м}$ ;  $L = 275 \text{ м}$ ;

лава:  $t = 0,7 \text{ м}$ ;  $S = 6 \text{ м}^2$ ;  $P = 10,2 \text{ м}$ ;  $L_{л} = 275 \text{ м}$ .

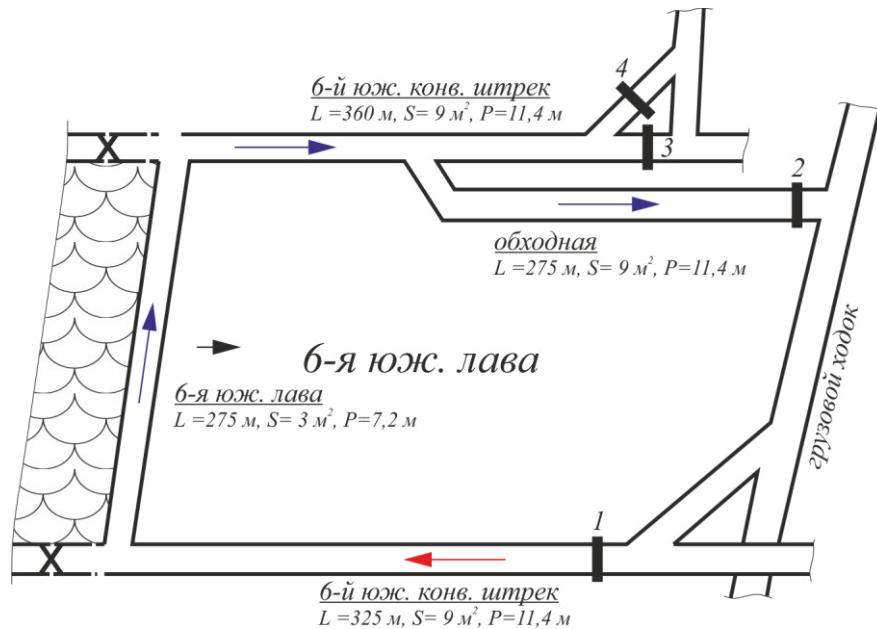


Рис. 1. Схема аварийного выемочного участка

## 2. Расчет подачи азота в горные выработки

Расчет составлен для случая выпуска азота со стороны поступающей в пожарный участок вентиляционной струи. Расстояние от места выпуска азота до очага пожара не должно превышать 1000 м.

### Исходные данные для расчета

$Q$  – расход воздуха, поступающего на участок в нормальном режиме проветривания,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$C$  – концентрация метана в исходящей из участка струе воздуха в нормальном режиме проветривания, %;

$L$  – общая длина выработок аварийного участка, заполняемых азотом, м;

$S$  – средняя площадь сечения выработок,  $\text{м}^2$ .



**Пример задания 2.** Рассчитать подачу азота в аварийный участок при следующих исходных данных:  $Q = 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $C = 0,9\%$ ;  $L = 1235 \text{ м}$ ;  $S = 7,5 \text{ м}^2$  (см. геометрические параметры горных выработок в предыдущем примере).

### **Занятие № 9. Определение тепловой депрессии и оценка устойчивости вентиляционных струй при пожаре в вертикальных и наклонных выработках (4 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методикой определения тепловой депрессии в аварийных выработках и расчета устойчивости вентиляционных струй в и наклонных выработках в условиях подземного пожара.

#### **1. Оценка устойчивости вентиляционных струй при пожаре**

##### Исходные данные для расчета:

$z$  – вертикальная высота выработки, м;

$\tau$  – время развития пожара, ч.

$S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$P$  – периметр выработки, м;

$L$  – длина горной выработки, м;

$\beta$  – угол наклона выработки, град;

$t_0$  – температура воздуха в выработке до возникновения в ней пожара,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{оч} (t_1)$  – максимальная температура пожарных газов в очаге горения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_1$  – температура, измеренная в исходящей из очага пожарной струе,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_2$  – температура, измеренная перед очагом пожара,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$L_1$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_1$ , м;

$L_2$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_2$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$L_3, L_4$  и  $L_5$  – длины частей выработки, м.

**Пример задания 1.** В условиях ПР.3 определить величину тепловой депрессии и оценить степень устойчивости вентиляционной струи при пожаре в лаве при следующих исходных данных:  $Q = 18 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $S = 3 \text{ м}^2$ ;  $\beta = 10^{\circ}$ ;  $x = 150 \text{ м}$ ;  $\tau = 80 \text{ мин}$ . Величина тепловой депрессии на случай возникновения пожара в лаве, заложенная в план ликвидации аварии составляет 75 даПа.

**Пример задания 2.** В условиях ПР.3 определить величину тепловой депрессии при пожаре в лаве при следующих исходных данных:  $\beta = 10^\circ$ ;  $S = 3 \text{ м}^2$ ;  $P = 7,2 \text{ м}$ ;  $L = 275 \text{ м}$ ;  $V_B = 2 \text{ м/с}$ ;  $\tau = 80 \text{ мин}$ .

Данные, полученные в результате разведки ВГСЧ:  $C = 21\%$ ;  $C_o = 4,4\%$ ;  $t_o = 25^\circ\text{C}$  (ПР3.2);  $L_4 = 10 \text{ м}$ ;  $t_1 = 45^\circ$ ;  $L_3 = 10 \text{ м}$ ;  $L_5 = 5 \text{ м}$ ;  $t_2$  принимается равным  $t_{си}$ . Величина тепловой депрессии на случай возникновения пожара в лаве, заложенная в план ликвидации аварии составляет 75 даПа.

### **Занятие № 10. Прогноз газовой обстановки на аварийном участке (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками прогноза газовой обстановки на аварийном участке.

#### *1. Определение времени загазовывания метаном выработок участка*

Уменьшение расхода воздуха на аварийном участке может привести к загазированию лавы и исходящей струи участка выше предельно допустимой концентрации метана (2%), достигая взрывоопасных значений (4,3%), особенно после изоляции участка.

#### Исходные данные для расчета

$Q_1$  – средний расход воздуха в исходящей струе участка до изменения режима проветривания,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q$  – ожидаемый расход воздуха после изменения режима проветривания,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_o$  – содержание метана в поступающей на участок струе воздуха, %

$C_1$  – содержание метана в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, %;

$C$  – допустимая (или взрывоопасная) концентрация метана, %;

$a$  – объемная доля газовыделения на участке из разрабатываемого пласта;

$k_{ym.в}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство;

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки с исходящей струей воздуха,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта, м;

$b$  – ширина призабойного пространства, м;

$V$  – средняя скорость подвигания забоя за последние 5 месяцев, м/мес;

$L$  – длина лавы, м;

$l$  – длина выработки с исходящей струей, м.

Пример задания. Определить время загазовывания метаном до 2 % лавы и участка с прямоточной схемой проветривания при примыкании свежей струи к угольному массиву, а исходящей – к выработанному пространству без подсвежающей струи при полном обрушении кровли. Расход воздуха на участке резко уменьшился при закорачивании вентиляционной струи.

Исходные данные для расчета:  $Q_1 = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $C_o = 0,1\%$ ;  $C_1 = 0,9 \%$ ;  $C = 2\%$ ;  $a = 0,6$ ;  $S = 7 \text{ м}^2$ ;  $b = 4 \text{ м}$ ;  $V = 40 \text{ м/мес}$ ;  $L = 150 \text{ м}$ ;  $l = 500 \text{ м}$ ;  $m = 0,9 \text{ м}$ .

По материалам депрессионной съемки коэффициент утечек воздуха  $k_{\text{ут.в}} = 1,55$ .

## *2. Определение времени загазовывания метаном тупиковой выработки*

В практике тушения пожаров в тупиковых выработках не редкими являются случаи остановки вентиляторов местного проветривания, что представляет особую опасность при пожарах в тупиковых выработках с высоким содержанием метана. В этом случае важным является знание продолжительности загазовывания тупиковой выработки до предельно допустимой и взрывоопасной концентрации.

### Исходные данные для расчета

$C_3$  – концентрация метана в забое тупиковой выработки в нормальном режиме проветривания, %;

$C$  – предельно допустимая или взрывоопасная концентрация метана, %;

$I_3$  – метановыделение (дебит метана) в забое выработки,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$I$  – общая метанообильность выработки,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$S, h$  – площадь поперечного сечения выработки и ее высота в 10-20 м от забоя,  $\text{м}^2$  и м соответственно;

$l$  – длина выработки, м;

$V$  – средняя скорость продвижения забоя за последние 5 месяцев, м/мес.

**Пример задания.** Определить время создания взрывоопасного содержания метана в забое тупиковой выработки после остановки вентилятора местного проветривания (ВМП) при следующих исходных данных:  $C_3 = 0,5\%$ ,  $C = 4,3\%$ ,  $I_3 = 0,2$  м<sup>3</sup>/мин,  $I = 0,5$  м<sup>3</sup>/мин,  $S_m = 9$  м<sup>2</sup>,  $h_m = 3$  м,  $l = 1000$  м,  $V = 80$  м/мес.

### **Занятие № 11. Расчет параметров дегазационной системы аварийного участка (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров дегазационной системы аварийного участка.

#### *1. Требуемая производительность дегазационной системы аварийного участка*

Пожар в выработанном пространстве обычно распространяется вдоль его протяженности не более чем на 40-60 м, а от вентиляционной выработки – примерно на  $\frac{1}{3}$  длины лавы. Назначение дегазации в аварийной обстановке – обеспечить снижение поступления метана из сближенных пластов до величины, при которой в указанной зоне концентрация метана должна быть ниже взрывоопасной т. е. менее 4,3%.

#### Исходные данные:

$\bar{f}$  – средневзвешенная крепость пород на высоте до 8 вынимаемых мощностей пласта;

$S_{оч}$  – площадь поперечного сечения очистного забоя, м<sup>2</sup>.

$C_n$  – характерная для конкретного выемочного участка концентрация метана в утечках воздуха через выработанное пространство вблизи лавы, измеряемая за посадочной крепью у обрушенных пород вблизи вентиляционной выработки, %;

$Q_\phi$  – объем метановоздушной смеси, извлекаемый до возникновения пожара, м<sup>3</sup>/с;

$C_2$  – концентрация метана в дегазационном газопроводе аварийного участка, %.

$I_6$  – газовыделение из выработанного пространства на аварийном участке без дегазации (принимается по данным вентиляционной службы шахты), м<sup>3</sup>/с.

**Пример задания 1.** Рассчитать производительность дегазационной системы на аварийном участке при следующих исходных данных:  $S_{oc} = 3 \text{ м}^2$ ;  $m = 0,9 \text{ м}$ ;  $\bar{f} = 5$  (непосредственная кровля – алевролит);  $C_n = 3,5\%$ ;  $Q_\phi = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $C_2 = 50\%$ .

2. Оценка газовой обстановки на выемочных участках после отключения дегазации

Исходные данные:

$C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$Q$  – расход воздуха на участке до аварии, м<sup>3</sup>/мин;

$I_o$  – общая газообильность участка при аварии, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{6o}$  – газовыделение из выработанного пространства в нормальном режиме дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$M$  – расстояние от кровли разрабатываемого пласта до наиболее мощного сближенного подрабатываемого пласта в диапазоне от 4-6 до 30 вынимаемых мощностей пласта, м;

$h$  – средняя высота вентиляционной выработки на ее участке от 20 до 50 м от лавы, м;

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки на этом участке, м<sup>2</sup>;

$S_T$  – площадь поперечного сечения тупика погашаемой за лавой вентиляционной выработки, м<sup>2</sup>.

**Пример задания 2.** Определить максимально ожидаемую концентрацию метана в тупике погашаемой вслед за лавой вентиляционной выработки при следующих исходных данных:  $C_o = 0,1\%$ ;  $Q_a = 1080 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $I_o = 3,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $I_{6o} = 2,1 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $M = 25 \cdot m$ , м;  $m = 0,9 \text{ м}$ ;  $h = 3 \text{ м}$ ;  $S = S_T = 9 \text{ м}^2$ .

**Занятие № 12. Контроль параметров изолированного участка (2 часа).**

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров изоляции аварийных участков.

*1. Определение минимально необходимой подачи воздуха при изоляции аварийного участка*

Исходные данные для расчета

$Q_1$  – расход воздуха на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{л1}$  – расход воздуха в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$I_{оч}$  – газообильность очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{уч}$  – газообильность выемочного участка, м<sup>3</sup>/мин.

$S_l$  – площадь поперечного сечения лавы, м<sup>2</sup>;

$h_l$  – высота лавы, м.

**Пример задания.** Определить минимально необходимую подачу воздуха при изоляции аварийного участка при следующих исходных данных:  $Q_1 = 422$  м<sup>3</sup>/мин;  $Q_{л1} = 384$  м<sup>3</sup>/мин;  $C_o = 0,1$  %;  $I_{оч} = 2,4$  м<sup>3</sup>/мин;  $I_{уч} = 3,4$  м<sup>3</sup>/мин;  $S_l = 3,2$  м<sup>2</sup>;  $h_l = 1,2$  м. Время с момента изменения режима проветривания до закрытия проемов в перемычках более 5 ч, пожар возник в верхней части лавы.

*2. Определение утечек воздуха через аварийный участок*

Исходные данные для расчета

$h_1$  – депрессия аварийного участка, Па;

$h_n$  – депрессия проема в перемычке со стороны поступающей струи, Па;

$h_u$  – депрессия проема в перемычке со стороны исходящей струи, Па;

$Q_1$  – расход воздуха на аварийном участке, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – расход воздуха после возведения перемычек при открытых проемах, м<sup>3</sup>/с.

**Пример задания.** Определить утечки воздуха через аварийный участок при закрытом проеме со стороны поступающей струи и открытом проеме в перемычке со стороны исходящей струи при следующих исходных данных: где

$h_1 = 47,6$  Па;  $Q_1 = 5,7$  м<sup>3</sup>/мин;  $Q_2 = 3,7$  м<sup>3</sup>/мин;  $h_n = 38,8$  Па;  $h_u = 22$  Па;  $h_n' = 115$  Па;  $h_u' = 12$  Па.

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Профилактика и тушение подземных пожаров» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций			Оценочные средства	
					текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 4, 6, 7, 9	ПК-17, способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации последствий ЧС	знает	опасные факторы пожара (ОФП), возникающие при тушении пожаров, требования по охране труда (ОТ).	УО-1 ПР-12	Вопросы к экзамену № 12, 17, 18, 34, 36, 41-44, 46-54, 57  ПР 3-12
			умеет	применять специальную пожарную технику и оборудование, предназначенным по тушения пожаров		
			владеет	специальной пожарной техникой и оборудованием, предназначенным по тушения пожаров		
2	Раздел 4, 5, 6, 7, 8, 9	ПК-18, знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной	знает	конструкции и технических характеристики пожарной и аварийно-спасательной техники	УО-1 ПР-12	Вопросы к экзамену 12, 17-24, 67

	техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной	умеет	практически работать на основной пожарной и аварийно-спасательной технике.	ПР 4-7, 10
		владеет	правилами безопасной эксплуатации и ремонта пожарной и аварийно-спасательной техники.	

Типовые методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Однолько, А. А. Пожарная тактика. Планирование и организация тушения пожаров [Электронный ресурс]: курс лекций / А. А. Однолько, С. А. Колодяжный, Н. А. Старцева. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 145 с. — 978-5-89040-424-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22665.html>
2. Опасные природные процессы (Часть I): Учебное пособие / Бояринова С. - Железногорск: ФГБОУ ВО СПСА ГПС МЧС России, 2017. – 109 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/912680>
3. Эффективность применения детонирующего шнура повышенной мощности ДШН-80 на проходке горных выработок и при взрывных работах по тушению и локализации лесных пожаров / С. В. Ушаков, В. В. Гусева. Горная промышленность: научно-технический и производственный журнал. - 2016. - № 1. – Режим доступа: [http://\(VRT\)000425589](http://(VRT)000425589)



### Дополнительная литература

1. Шушлебин, И. Ф. Чрезвычайные ситуации. Часть II. Чрезвычайные ситуации природного характера [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. Ф. Шушлебин. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2009. — 37 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54803.html>
2. Андрианов, Е. А. Практикум по пожаровзрывозащите [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. А. Андрианов, А. А. Андрианов. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72735.html>
3. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных (СИЗОД) [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. А. Грачев, С. В. Собурь, И. В. Коршунов, И. А. Маликов. — Электрон. текстовые данные. — М.: ПожКнига, 2012. — 190 с. — 978-5-98629-039-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13366.html>
4. [Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей: методический указатель / Н. О. Каледина, С. Б. Романченко, В. А. Трофимов; Московский государственный горный университет.](#)
5. [Разработка обводненных буроугольных месторождений Дальнего Востока открытым способом / В. П. Лушпей, А. А. Григорьев, Ю. В. Костылев ; \[под общ. ред. В. П. Лушпея\] ; Дальневосточный государственный технический университет.](#) Владивосток: [Изд-во Дальневосточного технического университета], 2008. Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:382449&theme=FEFU>

### Нормативно-правовые материалы

1. Приказ МЧС России от 09.06.2017 N 251 "Об утверждении Устава военизированной горноспасательной части по организации и ведению горноспасательных работ" (Зарегистрировано в Минюсте России 24.08.2017 N 47930).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон № 123-ФЗ. – М.: Проспект, 2014, 112 с. - Режим доступа: <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:747509&theme=FEFU> НБ ДВФУ – 1 экз.
3. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 69-ФЗ "О пожарной безопасности".

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

Видеосистема для демонстрации слайдов с помощью программного приложения Microsoft Power Point.

Информационные справочные системы, возможности которых студенты могут свободно использовать:

1. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/defaultx.asp>;
2. Электронно-библиотечная система Znanium.com НИЦ "ИНФРА-М" <http://znanium.com/>
3. Электронная библиотека "Консультант студента" КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА - электронная библиотека технического вуза. <http://www.studentlibrary.ru/>
4. Электронно - библиотечная система образовательных и просветительских изданий в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. <http://www.iqlib.ru>
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online». [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)

Место расположения компьютерной техники, на котором установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс кафедры БЧС и ЗОС, Ауд. Е720, 15	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Microsoft Office Professional Plus 2010 – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов (текстами, электронными таблицами, базами данных и др.);</li> <li>– 7Zip 9.20 - свободный файловый архиватор с высокой степенью сжатия данных;</li> <li>– ABBYY FineReader 11 - программа для оптического распознавания символов;</li> <li>– Adobe Acrobat XI Pro – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF;</li> <li>– AutoCAD Electrical 2015 Language Pack – English - трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения;</li> <li>– CorelDRAW Graphics Suite X7 (64-Bit) - графический редактор;</li> </ul>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Для освоения дисциплины «Профилактика и тушение подземных пожаров» студент должен постоянно работать с лекционным материалом, активно работать на практических занятиях и самостоятельно работать с учебно-методической литературой. Активно использовать текущие консультации, которые дает преподаватель в процессе прохождения дисциплины, для закрепления пройденного материала.

При подготовке к практическим занятиям студентам предлагаются следующие практические работы.

### **Практическая работа № 1.**

#### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТУШЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ ПО ТУШЕНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ**

**Цель:** ознакомиться с основными способами и средствами тушения подземных пожаров, планированием работ по тушению подземных пожаров.

По аварийной опасности шахты подразделяются на три степени:

I – шахты, опасные по внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, а также сверхкатегорные по метану, разрабатывающие склонные к самовозгоранию пласты угля;

II – шахты, сверхкатегорные по метану, разрабатывающие не склонные к

самовозгоранию пласты угля; все шахты III категории по метану; шахты II и I категории по метану, разрабатывающие пласты угля, склонные к самовозгоранию;

III – шахты II и I категории по метану, разрабатывающие пласты угля, не склонные к самовозгоранию, и все шахты, не опасные по газу метану, или опасные только по взрывчатости угольной пыли.

Наиболее распространенным видом аварии в шахтах являются пожары.

Пожары, возникающие непосредственно в горных выработках (подземных и открытых) и в массиве полезного ископаемого, называются рудничными или подземными пожарами. К ним относятся также пожары, происходящие на поверхности, когда продукты горения и огонь могут распространиться в шахту. Подземные пожары по источнику воспламенения горючего материала делятся на два вида: экзогенные и эндогенные.

*Экзогенными* называются пожары, возникшие от внешних источников тепла (открытого огня, короткого замыкания в электрокабелях, нарушения правил ведения огневых работ, трения и др.).

*Эндогенными* называются пожары от самовозгорания угля, возникающие в результате окислительных процессов, происходящих в полезном ископаемом при определенных условиях.

Основными причинами возникновения экзогенных пожаров являются: нарушение правил эксплуатации электрооборудования, ведения электрогазосварочных и взрывных работ, неосторожное обращение с огнем, наличие в машинах и механизмах трущихся частей, нарушение правил эксплуатации ленточных конвейеров.

Эндогенная пожароопасность выемочных участков характеризуется степенью склонности угля к самовозгоранию. Самовозгорание происходит при аккумуляции не менее 60-70% теплоты, выделяющейся при окислении угля.

*Самовозгорание* – это воспламенение горючего материала, происходящее в результате непрерывно развивающихся окислительных реакций в самом веществе. Самовозгоранию всегда предшествует более или менее длительный процесс низкотемпературного окисления и самонагревания, являющегося процессом естественного повышения температуры в результате окисления угля. Скорость самонагревания определяется химической активностью угля, условиями притока воздуха и возможностью отдачи тепла в окружающую среду.

Несвоевременная и некачественная изоляция отработанных и погашенных выработок (особенно в сложных горно-геологических условиях), большие эксплуатационные потери угля, несвоевременное и некачественное профилактическое заиливание отработанных участков, нарушение порядка отработки пластов угля, склонного к самовозгоранию, медленное внедрение закладки выработанного пространства и другие факторы усиливают эндогенную пожароопасность шахт.

Подземные пожары, особенно экзогенные, возникающие внезапно, представляют большую опасность для жизни людей, занятых на участках, на которые могут проникать продукты горения и вызывать отравления.

Для людей, ведущих борьбу с пожаром, особенно развитым, появляются дополнительные осложняющие факторы и опасности, основными из которых являются: задымленность атмосферы, высокая температура воздуха в районе очага пожара и на исходящей струе воздуха, возможные завалы выработок в связи с выгоранием или

деформацией крепи, скопление взрывчатых газов до опасных концентраций и их взрывы при пожарах в газовых шахтах, выбросы пара при тушении больших раскаленных масс водой и образование взрывчатых концентраций газов (водорода) при разложении воды, вероятность опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии при пожарах в наклонных и вертикальных выработках.

Степень развития экзогенного пожара качественно может быть охарактеризована тремя стадиями:

I – *разгорание*: характеризуется увеличением массы сгорающего в единицу времени материала и расхода кислорода воздуха на горение;

II – *развившийся пожар*: практически полностью расходуется кислород на горение и при постоянном расходе воздуха сгорает постоянная масса горючего материала;

III – *затухание*: нарастание в продуктах горения концентрации кислорода и снижение концентраций углеродосодержащих газов.

Для выбора эффективных средств и способов тушения подземных пожаров в конкретных условиях необходимо знать основные его параметры:

- среднюю скорость перемещения очага горения по выработке;
- максимальную и среднюю температуру пожарных газов в очаге горения и на заданном удалении от него;
- длину зоны горящей крепи в выработке;
- площадь горящей поверхности;
- расход материала на горение;
- длину зоны действия конвективных потоков навстречу вентиляционному потоку;
- дальность (радиус) эффективного применения (действия) пожаротушащих средств;
- площадь тушения;
- скорость и продолжительность тушения.

Для эффективного тушения подземного пожара необходимо, чтобы параметры тушения планируемых к применению технических средств соответствовали параметрам развития пожара или превышали их. При этом необходимо учитывать:

- возможность доставки средств к месту применения исходя из его габаритов, конструктивных особенностей и состояния горных выработок (угол наклона, ширина и высота, вид транспортных средств);
- возможность обеспечения пожаротушащего средства источниками энергии и огнетушащими веществами (вода, порошок, пенообразователь и др.);
- возможность применения технического средства исходя из газовой обстановки на аварийном участке, температуры, влажности и задымленности в месте установки средства и др.;
- время доставки технического средства к месту применения, его монтажа и подготовки к работе.

Подземный пожар независимо от причин его возникновения и вида горючего материала (уголь, древесина, конвейерная лента, трансформаторное масло и др.) сопровождается сложными физико-химическими процессами, приводящими к существенному изменению состава рудничной атмосферы.

Постоянной и обязательной составляющей пожарных газов является окись углерода. С ее появлением в исходящей струе пожарного участка непременно наблюдается уменьшение объемных долей кислорода, увеличение содержания углекислого газа, метана, водяного пара. В дальнейшем появляются водород и гомологи метана.

На всех стадиях тушения пожара для ограничения его активности и снижения скорости распространения по горным выработкам необходимо осуществлять меры по его локализации:

- сокращение расхода воздуха, поступающего к очагу горения;
- установка водяных завес и создание преград на пути распространения пожара (установка временных перемычек, закрытие противопожарных дверей и др.);
- местное реверсирование вентиляционной струи;
- удаление горючего материала из зоны горения или на пути распространения пожара;
- сочетание вышеперечисленных способов локализации.

С момента возникновения пожара, независимо от его размеров и характера развития, ответственный руководитель ликвидации аварии и руководитель горноспасательных работ обязаны принять меры по бесперебойной подаче воды на пожарный участок и сосредоточению в шахте мощных средств пожаротушения и аварийных материалов.

В зависимости от места возникновения пожара предусматривается следующий порядок посылки отделений на выполнение оперативных заданий:

- при пожарах в стволах, по которым подается в шахту свежий воздух, и надшахтных зданиях первое отделение ВГСЧ направляется для тушения пожара и перекрытия стволов, а второе – для вывода людей из околоствольных выработок этих стволов и последующего тушения первичными средствами пожаротушения возникших очагов в околоствольном дворе;
- при пожарах в околоствольных дворах стволов, подающих в шахту воздух, а также в главных выработках, расположенных в начале вентиляционной струи (главные квершлагги, коренные штреки и т.п.), первое отделение направляется на тушение пожара, а второе – для вывода людей из наиболее опасных мест;
- при пожарах в участковых штреках, квершлагах и камерах, а также в лавах, вентиляционных ходках и сбойках, когда загазовыванию подвергается один участок, первое отделение направляется кратчайшим путем по свежей струе в выработки с исходящей с участка струей воздуха для вывода людей, а второе - по поступающей струе для тушения пожара;
- при пожарах в вертикальных стволах и шурфах с исходящей струей воздуха и их надшахтных зданиях первое отделение направляется на тушение пожара и вывод людей из надшахтного здания, второе – в околоствольный двор для предотвращения

распространения пожара в горные выработки шахты;

– при пожарах в наклонных стволах, вентиляционных сбойках, имеющих выход на поверхность, и в околоствольных дворах с исходящей струей воздуха первое отделение направляется в шахту для спасения людей, второе - на тушение пожара.

Последующие отделения направляются в места, где их действия наиболее необходимы.

#### ***Вентиляционные режимы при тушении подземных пожаров***

При тушении пожара в шахте должен быть установлен режим вентиляции, снижающий активность пожара и создающий условия для его тушения, а также предотвращающий скопление горючих газов до взрывоопасных концентраций и распространение газообразных продуктов горения в места нахождения людей.

При тушении пожаров в шахтах применяются следующие вентиляционные режимы:

- прекращение проветривания горящих выработок пожарного участка;
- сохранение режима проветривания выработок пожарного участка, существовавшего до возникновения пожара;
- увеличение или уменьшение расхода воздуха, поступающего к очагу пожара, при сохранении существовавшего направления вентиляционной струи;
- реверсирование (опрокидывание) вентиляционной струи с сохранением, увеличением или уменьшением расхода воздуха, поступавшего по выработкам до возникновения пожара;
- закорачивание вентиляционной струи в нормальном или реверсивном режиме проветривания.

Выбор вентиляционного режима определяется степенью опасности шахты по газу метану и взрывчатости угольной пыли и возможностями ее вентиляционной сети. При этом следует также учитывать фактические условия аварийной обстановки, место возникновения пожара и скорость его распространения, величину и направление естественной и тепловой депрессии.

Принятый вентиляционный режим должен быть устойчивым и управляемым.

Для спасения людей при пожарах в надшахтных зданиях воздухоподающих стволов, в стволах со свежей струей воздуха, околоствольных дворах и примыкающих к ним главных воздухоподающих выработках наиболее эффективным является реверсирование вентиляционной струи в масштабе всей шахты.

При пожарах и взрывах в пределах выемочных полей (панелей) и в выработках с исходящими струями (вентиляционные выработки горизонта, крыла или шахты в целом, шурфы, вентиляционные сбойки, воздухоподающие стволы и их надшахтные здания) сохраняется существующее направление вентиляционной струи с неизменяемым, уменьшенным или увеличенным расходом воздуха.

В ходе тушения подземного пожара особенно в газовых шахтах должен осуществляться непрерывный контроль за содержанием горючих газов, кислорода и других параметров пожара. Если содержание метана у места тушения пожара достигает 2%, все люди, в том числе и горноспасатели, должны быть выведены из опасной зоны, а для тушения

пожара должен быть применен способ, обеспечивающий безопасность работ.

### ***Способы тушения подземных пожаров***

Тушение пожаров в шахтах может осуществляться следующими способами:

- активным способом, т.е. непосредственным воздействием на очаг огнегасительными средствами или дистанционная подача в зону горения воды, пены и других огнегасительных веществ по трубопроводам, скважинам или по подводящим выработкам;
- изоляцией пожарного участка от действующих выработок перемычками, «рубашками» и другими изоляционными сооружениями с целью прекращения доступа воздуха к очагу пожара;
- комбинированным способом – временной изоляцией пожарного участка
- перемычками (глухими или со шлюзами) для локализации горения с последующим вскрытием перемычек и окончательным тушением пожара активным способом.

При выборе того или иного способа ликвидации пожара учитываются характер пожара, место его возникновения, размеры, стадия его развития и наличие необходимых сил и средств пожаротушения, время, необходимое для тушения пожара, и возможные экономические затраты.

Большинство экзогенных пожаров тушат активным способом, но иногда осложненные экзогенные пожары изолируются. Этот способ применяют при развившихся пожарах в тех случаях, когда нет достаточно средств для активной борьбы или она опасна для людей, работающих по ликвидации пожара (наличие метана 2% и т.д.), а также в условиях, когда применять активные способы неэкономично. Эндогенные пожары чаще ликвидируют способом изоляции или комбинированным.

Ответственный руководитель ликвидации аварии и руководитель горноспасательных работ, отправив первые отделения ВГСЧ в шахту при пожаре по плану ликвидации аварий, обязаны выполнить следующее:

- оценить режим проветривания и по возможности направить продукты горения, минуя скопления людей;
- установить все возможные подходы к очагам горения по действующим и отработанным выработкам, скважинам, провалам и др.;
- выбрать способ тушения очагов горения и рассчитать параметры проветривания пожарного участка;
- определить объемы и места размещения сил и средств для локализации и тушения пожара.

### ***Тушение пожаров активным способом***

Активный способ тушения подземных пожаров предполагает применение различных огнегасительных средств, которые в зависимости от физико-химических свойств и особенностей применения делятся на жидкие (вода, пена), газообразные (углекислый газ, азот, парогазовая смесь), сыпучие (огнегасительные порошки, инертная пыль, песок) и флегматизаторы (бромэтиловая смесь).



*Вода* является основным и наиболее распространенным огнегасительным средством. Она обладает рядом достоинств:

- поданная под напором струя воды механически сбивает пламя с горящих предметов, и, покрывая их поверхность, охлаждает эти предметы до температуры ниже той, которая необходима для поддержания горения;
- смачивая смежные с горячей поверхностью участки и предметы, вода предотвращает распространение пламени и их воспламенение;
- образующийся при попадании воды на горящую поверхность пар (1700 л из 1 л воды) изолирует ее на некоторое время от кислорода воздуха и снижает активность горения;
- легко транспортируется в больших количествах в любую выработку шахты.

Для тушения подземных пожаров вода может подаваться в виде компактной струи и в распыленном состоянии.

Если к очагу пожара имеется свободный доступ, вода применяется в виде компактной струи, при этом:

- возможно подавать большую массу воды на ограниченный участок горячей площади;
- возможно маневрировать струей за счет перемещения ее на различные участки очага пожара;
- используя дальность полета компактной струи, можно тушить пожар, находясь от него на определенном расстоянии, или «перерезать» распространившийся по выработке пожар на малые участки.

Зачастую используется вода в распыленном состоянии.

В зоне пожара из-за наличия высокой температуры распыленная вода, превращаясь в пар, поглощает значительно больше тепла, чем вода компактной струи. Величина поглощения тепла тем больше, чем мельче распылена вода.

Но вода имеет и ряд недостатков:

- при попадании внутрь очага пожара в количестве, не достаточном для полного его тушения, вода под воздействием высокой температуры разлагается на водород и кислород, образуя взрывчатую смесь, а большое парообразование опасно для людей, тушащих пожар;
- вода является проводником электричества, поэтому прежде чем тушить горящее электрооборудование необходимо снять с него напряжение;
- водой нельзя тушить горящее масло и другие легковоспламеняющиеся жидкости, так как они, будучи легче воды, разбрызгиваясь, увеличивают площадь горения и усиливают пожар;
- образующийся при тушении пожара водой водяной пар способствует отслаиванию боковых пород и обрушению их;
- вода малоэффективна при тушении загораний метана.

*Химическая и воздушно-механическая пены* широко применяются при активном тушении подземных пожаров.

Химическая пена – это продукт взаимодействия кислоты и водно-щелочного состава. Так как пенные огнетушители в шахтах и ВГСЧ отсутствуют, химическая пена практически для тушения пожаров не применяется.

Воздушно-механическая пена, подаваемая в больших количествах, может быть успешно применена для тушения пожаров в труднодоступных местах (в куполах обрушений, за бетонной крепью и т.д.), а также в вертикальных и наклонных выработках.

Преимуществом пенных средств является то, что пена, попадая на горящие предметы, помимо охлаждения, покрывает их и изолирует от доступа кислорода, прерывая горение.

Воздушно-механическая пена, кроме того:

- имеет более высокий коэффициент полезного использования воды (из единицы объема воды получается до 500 объемов и более пены);
- за счет общешахтной депрессии может перемещаться по горным выработкам на значительные расстояния, сохраняя структуру и объем;
- перемещаясь, способна проникать в свободные объемы выработок и заполнять их;
- имея небольшую среднюю плотность, она не разбрызгивает горящую жидкость, а покрывает ее и тушит;
- эффективна при тушении горящих трудносмачиваемых материалов.

Воздушно-механическая пена представляет собой подвижную массу, состоящую из наполненных воздухом пузырьков, оболочкой которых является водный раствор пенообразователя. Получается воздушно-механическая пена в различного рода пеногенераторах. Пенообразователи относятся к группе поверхностно-активных веществ, добавки которых в воду (0,5-6%) снижают поверхностное натяжение и повышают смачивающую способность, обеспечивают процесс пеногенерации и устойчивости пены.

Эффективность действия воздушно-механической пены зависит от ее кратности и устойчивости. Различают пену низкой (до 50), средней (50-300) и высокой (свыше 300) кратности. Максимально допустимая ее кратность для тушения подземных пожаров равна 1000, что соответствует содержанию  $0,001 \text{ м}^3$  жидкости в  $1 \text{ м}^3$  пены.

Для тушения подземных пожаров применяется пена устойчивостью до 2 часов.

Наибольший эффект локализации и тушения пожаров достигается при комбинированном применении пены с огнетушащим порошком и инертными газами (газомеханическая пена). При этом порошковое облако прекращает пламенное горение, а пена более эффективно охлаждает горящие материалы и боковые породы. Инертная пена содержит в пузырьке инертный газ, который после разрушения пены локализуящее воздействие на очаг пожара, снижая концентрацию кислорода в зоне горения.

Пену средней кратности целесообразно применять для тушения пожаров в куполах выработок, электромашинных камерах и тупиковых забоях незначительного объема; пену высокой кратности – для быстрого заполнения вертикальных, крутых и наклонных выработок большого объема и локализации пожара в горизонтальных выработках протяженностью 1000-1500 м.

Пена даже высокой кратности (500 и более) электропроводна, поэтому тушить пеной горящее электрооборудование под напряжением запрещается.

Во всех случаях применения воздушно-механической пены особое внимание должно уделяться проветриванию аварийного участка и шахты, в связи с тем, что заполнение выработок пеной приводит к уменьшению расхода воздуха и даже полному прекращению проветривания.

*Инертные газы* (азот и углекислый газ) будучи поданными в выработанное пространство снижают содержание кислорода в атмосфере пожарного участка. Эти газы, проникая в недоступные места, трещины, вытесняют кислород и создают инертную среду. Однако из-за низкой производительности существующих средств выпуска инертных газов и сложности доставки их к очагу горения они пока не нашли широкого применения для активного тушения подземных пожаров.

*Парогазовая смесь* – это смесь водяного пара и продуктов сгорания керосина, состоящая из азота (51,8%), водяного пара (40%), углекислого газа (7,0%) и кислорода (1%). Такая парогазовая смесь получается при работе генератора инертных газов. Пожаротушащий эффект парогазовой смеси заключается в том, что в очаге пожара создается бескислородная среда, в которой прекращается горение, а продолжительная подача этой смеси, имеющей температуру 80-100°C обеспечивает охлаждение горящих предметов и материалов до температуры, меньшей чем температура воспламенения. Парогазовой смесью можно потушить любого рода экзогенные пожары в выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии. Применение этой смеси для активного тушения эндогенных пожаров нецелесообразно, так как самовозгорающийся уголь тлеет при концентрации кислорода 2%.

*Огнегасительные порошки*, как правило, состоят из неорганических солей сульфатов и фосфатов аммония и гидрофобизирующих (отталкивающих воду) добавок. На основе ингибирования (замедления) активных центров пламени поверхностью частиц порошка и продуктами его разложения порошки прекращают цепную реакцию горения. Эффект ингибирования усиливается также за счет поглощения теплоты на испарение частичек порошка. Кроме того, частички порошка, попадая в пламя и на горящую поверхность, под действием высокой температуры расплавляются и, спекаясь, образуют твердое стекловидное покрытие (полифосфатную пленку), которое препятствует доступу кислорода к очагам горения. Таким образом, попадая на горящую поверхность, порошок действует одновременно как средство замедления реакции горения (ингибитор), средство изоляции очага горения и средство охлаждения.

Частички порошка, находящиеся во взвешенном состоянии в рудничной атмосфере, могут образовывать воздушно-порошковое облако с содержанием порошка 70-150 г на кубический метр, при котором невозможно пламенное горение. Кроме того, выходящая из огнетушителя струя порошка может механически сбивать пламя с горящих объектов.

Огнегасительные порошки П-1А, П-2АП, П-3АТ предназначены для тушения легковоспламеняющихся горючих жидкостей, древесины, угля, резинотехнических, полимерных изделий и электрооборудования под напряжением. Порошок П-1А используется для снаряжения герметичных емкостей порошковой техники, порошки П-2АП и П-3АТ – при дистанционном тушении подземных пожаров в горизонтальных и наклонных выработках шахт путем подачи их по трубопроводам или в спутный вентиляционный поток с помощью

устройств типа «Вихрь».

Таблица 1

**Способность различных огнегасительных средств тушить горящие материалы**

Огнегасительное средство	Электро-оборудование	Минеральные масла	Уголь	Дерево	Резина	Метан
Песок и инертная пыль						
Все виды пен						
Вода						
Инертные газы						
Огнегасительные порошки						
Хладоны и их составы						

**Примечание:** зеленый – гасят; серый – частично гасят; красный – не гасят

*Инертные сыпучие материалы* (песок, инертная пыль, сухая известь) считаются подручными вспомогательными средствами и применяются для тушения небольших очагов в начальный период их возникновения, а также при горении находящегося под напряжением электрооборудования. При тушении сыпучие инертные материалы изолируют очаг пожара от воздуха (а горящие жидкости впитываются сыпучими материалами) и тем самым прекращают процесс горения. Использовать сыпучие материалы необходимо лопатой или совком, посыпая горящие поверхности так, чтобы вся площадь горения была покрыта материалом и через него не прорывался огонь.

*Флегматизаторы* – это средства объемного пожаротушения, основанного на вытеснении или разбавлении воздуха, а также введении в горящую среду тормозящих (ингибирующих) веществ, прекращающих процесс горения. В качестве флегматизаторов в ВГСЧ в основном применяются вещества на основе хладонов. Наибольшее распространение получил состав БФ-2, состоящий из бромистого этила (73%) и хладона 114В2, называемого тетрофтордибромэтаном (27%). Пожаротушающее действие этого состава заключается в том, что благодаря низкой температуре кипения (+38,46°С) он испаряется и, достигая в атмосфере вокруг очага пожара концентрации 4,6%, прерывает реакцию горения. Вследствие того, что огнегасительный состав практически не снижает температуру в зоне горения, его действие эффективно в закрытом, слабо проветриваемом объеме (камеры, тупиковые выработки и др.) Данные составы используются в огнетушителях ОГС-5, ОГСФ-5, ОХГШ-2, которые целесообразно применять для тушения:

- горящего метана в доступных местах в начальный момент его загорания в шахте;
- горящего масла и других легковоспламеняющихся жидкостей;
- горячей изоляции электрооборудования, в том числе под напряжением.

***Особенности тушения пожаров в зависимости от вида горящего материала***

Тушение твердых материалов (конвейерная лента, древесина, уголь и др.) должно осуществляться водой или пеной. Применение огнетушащего порошка эффективно только в начальной стадии горения (в течение первых 10-20 мин.).

В стадии развитого пожара возможно тушение порошком только открытого пламени. В дальнейшем необходимо применять воду или пену для охлаждения и исключения повторного воспламенения твердых материалов.

Тушение горящего метана осуществляется любыми огнетушащими веществами. Во избежание повторного воспламенения метана, одновременно с его тушением производится охлаждение окружающих предметов (породы, угля, крепи, конструкций машин), которые могли воспламениться или нагреться в местах контакта с пламенем.

Тушение горящих жидкостей осуществляется огнетушащим порошком, пеной, песком, инертной пылью или распыленной водой.

Тушение взрывчатых веществ (аммонит и др.) производится водой или пеной. Тушение этих материалов огнетушащими порошками запрещается во избежание их взрыва.

Тушение горящих элементов электровозных батарей необходимо выполнять в защитных очках на случай разбрызгивания электролита.

Батарею, находящуюся на зарядке, необходимо предварительно отключить.

Тушение батареи производится огнетушащим порошком, песком, инертной пылью.

Тушение горящих кабелей, электродвигателей, пускателей и другого электрооборудования осуществляется после отключения электроэнергии. Тушение оборудования, находящегося под напряжением, допускается только огнетушащими порошками, песком или инертными газами.

#### ***Особенности тушения пожаров в зависимости от вида огнетушащих веществ***

При тушении или локализации пожаров в вертикальных выработках с восходящей струей воздуха разбрызганной водой, подаваемой с поверхности, необходимо контролировать со стороны околоствольного двора направление и скорость поступающей в ствол вентиляционной струи на случай возможного ее опрокидывания. При появлении признаков опрокидывания подача воды в ствол уменьшается,

При расчете расхода воды для локализации пожаров водяными завесами необходимо исходить из условия, что температура газов за водяной завесой не должна превышать 300°С.

При установке водяных завес необходимо исключать возможность обхода завесы нагретыми газами по куполам или пустотам за крепью горной выработки.

Для предотвращения ожогов или теплового травмирования респираторщиков в результате парообразования при тушении пожара водой запрещается:

подача воды в очаг при выполнении разведки или других работ в выработках с исходящей от очага пожара струей воздуха;

подача водяной струи в центр очага горения при непосредственном тушении пожаров в тупиковых забоях, камерах, других слабо проветриваемых выработках.

В исключительных случаях допускается подача воды в очаг пожара из вод разбрызгивателей, стволов или пожарных пик, установленных стационарно при условии отсутствия людей вблизи очага или на исходящей струе воздуха.

При тушении пожаров парогазовой смесью в выработках, по которым она подается к очагу, необходимо:

принимать меры против обрушения пород (дополнительное охлаждение газов, усиление крепи и др.), если выработки пройдены в мягких и средней крепости породах (наносы, сланцы);

осуществлять охлаждение разбрызганной водой металлических проводников в вертикальных стволах;

контролировать температуру инертных газов и содержание оксида углерода при выполнении работ в выработках с исходящей струей воздуха.

### ***Особенности тушения пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли***

В тех случаях, когда при тушении пожара создается опасность скопления метана (горючих газов) или нарастает его концентрация в струе воздуха, поступающего к очагу пожара, принимаются меры по снижению содержания метана (усиление проветривания выработки, дегазация источника поступления метана, изменение схемы подачи воздуха к очагу пожара и т.п.).

Если после принятых мер, концентрация метана продолжает нарастать, то при достижении его содержания 2% командир, руководящий тушением пожара, обязан вывести людей из опасной зоны и перейти к выполнению других мероприятий, предусмотренных оперативным планом.

Если при подготовке к изоляции или после ее окончания угроза накопления в изолируемом объеме горючих газов и взрыва газ воздушной смеси не уменьшается, принимаются меры по предотвращению и локализации взрыва: возведение изоляционных перемычек на безопасном расстоянии, инертизация атмосферы и др.

При непредвиденном изменении режима проветривания на аварийном участке люди, выполняющие работы по тушению или локализации пожара, отводятся до выяснения обстановки в безопасные места.

При тушении пожаров в шахтах, применяющих дегазацию, необходимо оценить ее влияние на процесс тушения и использовать для повышения безопасности работ.

Работы в выработках изолированного участка выполняются только после создания в изолированном пространстве невзрывоопасной атмосферы и при условии, что процесс поддержания инертной среды является управляемым.

При горении метана в выработанном пространстве его тушение осуществляется способом дегазации источника метановыделения и дистанционной подачи по скважинам, пробуренным в зону горения, огнетушащих веществ (пены, вспененных суспензий, инертных газов и др.). В случае неэффективности такого тушения изоляцию участка необходимо производить с осуществлением мер по предотвращению и локализации взрыва метановоздушной смеси.

В тех случаях, когда пожар осложнился взрывом, работы на аварийном участке немедленно прекращаются, а люди выводятся в безопасное место. Возобновление работ допускается только после осуществления мер, исключающих повторные взрывы (усиление проветривания, инертизация и др.). Если эти меры не дают положительных результатов и взрывы повторяются, пожарный участок изолируется на безопасных расстояниях или затапливается водой.

### ***Особенности тушения пожаров зависимости от места их возникновения***

#### ***Пожары в тупиковых выработках***

При тушении пожара в тупиковой выработке первоочередные действия горноспасательных отделений, наряду с выводом людей и тушением пожара, должны быть направлены на получение достоверной информации о газовой обстановке и развитии пожара. Все эти действия должны выполняться в соответствии с "Руководством по тушению пожаров в тупиковых выработках".

Непосредственное тушение пожара или другие работы в тупиковой выработке шахты, опасной по газу, не допускаются, если:

содержание метана в забое достигло 2% и продолжает увеличиваться;

произошло нарушение нормального проветривания выработки (остановка вентилятора, перегорание вентиляционных труб и др.);

выработка не проветривается и отсутствует достоверная информация о содержании метана в ней;

В шахтах, опасных по газу, независимо от обстановки, сложившейся в тупиковой выработке в начальный период возникновения пожара, наряду с другими работами, необходимо принять меры по подготовке участка к инертизации и изоляции.

Тушение пожара непосредственным воздействием на очаг в восстающих тупиковых выработках с углом наклона более 20° запрещается.

Запрещается тушение пожара и со стороны забоя тупиковой выработки независимо от угла ее наклона.

Дистанционную подачу огнетушащих веществ по вентиляционному трубопроводу можно осуществлять в тех случаях, когда сокращение расхода воздуха, вызванное подачей огнетушащего вещества, не создает угрозу скопления метана свыше 2%.

При работе вблизи устья крутых или вертикальных тупиковых выработок необходимо учитывать возможность выгорания крепи и обрушения устья с образованием воронки.

Если горноспасатели вынуждены покинуть забой из-за резкого осложнения обстановки, то перед уходом они должны оставить открытым концевой пожарный кран или подсоединить к нему и установить водоразбрызгиватель.

#### *Пожары в наклонных выработках*

Тушение пожаров в наклонных выработках с углом наклона более 20° независимо от направления движения воздушной струи осуществляется сверху путем дистанционного воздействия на очаг пожара огнетушащими веществами (пена, инертные газы, порошки, разбрызганная вода). При этом следует выбирать кратчайшие пути подхода к очагу пожара (из параллельных выработок, сбоек и др.).

Тушение непосредственным воздействием на очаг горения сверху осуществляется только лишь при отсутствии опасности опрокидывания вентиляционной струи под действием тепловой депрессии.

Тушение непосредственным воздействием на очаг горения снизу допустимо при условии, что выработка проветривается снизу вверх, а также отсутствует опасность или приняты меры от травмирования горноспасателей в результате падения горящих предметов, обрушившихся пород и др.

При наличии в наклонной выработке канатной откатки принимаются меры по фиксации подъемных сосудов на верхней и нижней приемных площадках.

При пожарах в лавах на пластах крутого падения подходить к очагу пожара для его тушения следует с боков (со стороны забоя или выработанного пространства) с использованием предохранительных полков и перекрытий.

#### *Пожары в выработках, оборудованных ленточными конвейерами*

Независимо от размеров и характера пожара принимаются меры по доставке к месту пожара и введению при необходимости в действие мощных средств пожаротушения (генератор инертных газов, порошковые установки объемного тушения, пеногенераторы и др.).

При тушении и локализации пожара в наклонной конвейерной выработке принимаются меры по предотвращению травмирования респираторщиков и распространения пожара вследствие обрыва и "ухода" конвейерной ленты вниз.

С момента возникновения пожара в конвейерной выработке принимаются меры по увеличению подачи воды к месту тушения с целью компенсации ее расхода на работу постановок автоматического пожаротушения.

#### *Пожары в надшахтных зданиях, стволах и других вертикальных выработках*

При пожарах в надшахтных зданиях, стволах и других вертикальных выработках одним из первоочередных мероприятий по тушению является включение водяной завесы в устье выработки и закрытие пожарных ляд. В стволах, оборудованных многоканатными подъемными установками, где допускается отсутствие пожарных ляд, распространение газообразных продуктов горения предотвращается герметизацией проемов внутренней шахты копра.

Посылка отделений ГВГСС в вертикальные выработки для тушения пожаров запрещается, за исключением случаев, когда есть полная уверенность в безопасности этих работ для исполнителей.

При пожарах в надшахтных зданиях, стволах и других вертикальных выработках должны быть осуществлены меры против обрыва канатов и падения подъемных сосудов.

## **Практическая работа №2**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУППЫ ПОЖАРООПАСНОСТИ И ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ**

**Цель:** ознакомиться с методикой определения основных показателей пожароопасности угля на основании аналитического решения задачи самовозгорания.

Практический интерес к процессам теплового самовозгорания связан с вопросами техники безопасности и пожаро- и взрывобезопасности при переработке и хранении веществ и материалов, способных к быстрому экзотермическому превращению при относительно низких температурах окружающей среды. Самопроизвольный разогрев горючей твердой фазы под действием реакции окисления часто является причиной разрушительных аварий, возникающих на промышленных объектах, и эта проблема давно интересует ученых и практиков.

Самовозгорание сыпучих мелкодисперсных веществ относится к одному из распространенных явлений, наблюдаемых в практике их хранения и переработки. Особенностью самовозгорания является то, что появление и развитие его не требует внешнего импульса, инициирующего горение, а возникновение происходит за счет реакции гетерогенного окисления в больших объемах веществ при относительно низких температурах окружающей среды.

Известно, что уголь окисляется при любом контакте с кислородом. Однако самовозгорание в скоплении отбитого угля, в трещинах целлика наблюдается далеко не всегда. Оно происходит отдельными сравнительно небольшими очагами, между которыми уголь может быть весьма мало нагрет или даже обладать первичной температурой либо температурой окружающего его массива. Подобный характер самовозгорания обусловлен



неоднородностью фильтрационных, сорбционных и теплопроводных свойств угля в скоплении или в целике и различием условий взаимодействия с окружающей средой участков, расположенных на поверхности скопления и внутри него, создающих естественную неоднородность температурного поля. Так как интенсивность окисления и, следовательно, интенсивность тепловыделения находятся в прямой зависимости от температуры, то участки скопления, где температура выше, имеют тенденцию быстрее самонагреваться, чем участки с более низкой температурой (при таких же условиях контакта с кислородом). В результате усиливается неравномерность температурного поля. Даже самая незначительная разница в температуре отдельных участков скопления может привести со временем к возникновению отдельных очагов интенсивного разогревания с температурой, превосходящей температуру в остальной части скопления на несколько десятков градусов. Но в силу естественного теплообмена температура в очагах интенсивного разогревания стремится снизиться до температуры окружающей части скопления. При этом интенсивность теплоотдачи из очага так же, как и тепловыделение в нем, находится в прямой зависимости от температуры, но указанная зависимость, в отличие от генерации теплоты, близка к линейной. Следовательно, дальнейшее развитие таких очагов зависит от соотношения скоростей изменения тепловыделения (генерации теплоты) и теплоотдачи (рассеивания теплоты).

Полагается, что в бесконечной реакционноспособной твердой среде, находящейся при температуре  $T_o$ , имеется симметричная область  $R_o=2r$ , нагреваемая в результате реакций окисления и к моменту времени  $\tau = t_1$  имеющая форму П-образной кривой радиусом  $2r$  (кривая *a*). Если окружающая среда ведет себя как инертное тело, то за счет потерь теплоты теплопроводностью в окружающее пространство температура в очаге разогревания понизится, а ее распределение определится в виде некоторой кривой *b*. Однако для реакционноспособной окружающей среды можно ожидать повышение температуры в центре очага, и в определенный момент времени она превысит начальную температуру очага разогревания (кривая *c* на рис. 1).

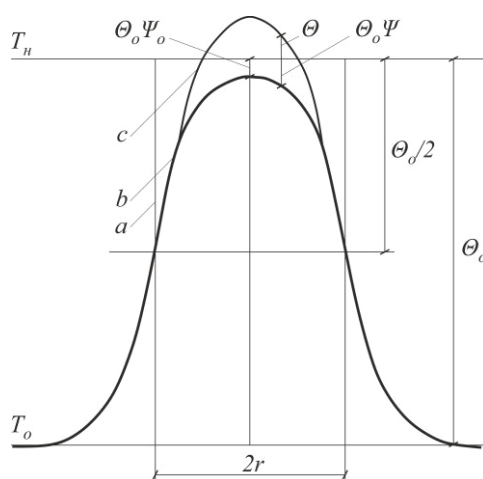


Рис. 1. Распределение температуры в очаге теплового взрыва

Таким образом, низкотемпературное окисление углей представляет собой сложный физико-химический процесс. При окислении углей в шахтах имеет место:

- массоперенос кислорода из горной выработки по трещинам пласта или пустотам межкускового пространства;
- адсорбция кислорода стенками трещин или внешними поверхностями кусков угля в выработанном пространстве;
- диффузия кислорода в мелкие поры к внутренним реагирующим поверхностям угля;
- сорбция кислорода на поверхностях мелких пор;
- химическое взаимодействие сорбированного кислорода с веществом угля;
- десорбция продуктов окисления ( $\text{CO}_2$ ;  $\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CO}$ ) с поверхностей угля;
- диффузия газообразных продуктов окисления в трещины и межкусковое пространство.

Следовательно, основными актами низкотемпературного окисления угля в шахтах можно считать внешний приток кислорода, внутреннюю диффузию, внешнюю и внутреннюю адсорбцию и хемосорбцию кислорода.

С учетом экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что при окислении углей до температур 60-100°C образуется незначительное количество газообразных продуктов и основная масса сорбированного кислорода необратимо реагирует с угольным веществом, процесс низкотемпературного окисления углей можно представить в виде последовательности следующих макрокинетических стадий: внешний перенос кислорода из выработки к сорбирующим объемам угольного скопления посредством фильтрации или диффузии по трещинам и макропорам; внутридиффузионный перенос кислорода к реагирующим поверхностям угольных пор; физико-химическое взаимодействие кислорода с углем, а также теплопередача. Обобщенная стадия физико-химического взаимодействия включает совокупность явлений: физическую сорбцию кислорода, диффузию его через оксиуголь, собственно химическое взаимодействие, отдельное изучение которых современными экспериментальными методами затруднительно.

Интенсивность окисления углей в шахтных условиях определяется не только химической активностью угля, но и скоростями внешнего и внутреннего массопереноса. Влияние массопереноса проявляется, прежде всего, в торможении окисления углей вследствие снижения концентрации кислорода в массиве по сравнению с его концентрацией в рудничном воздухе. Результаты изучения показали, что чем больше коэффициент диффузии кислорода в поры угля, тем быстрее устанавливается равновесие между газом и углем и тем больше концентрация кислорода в угольной частице, а, следовательно, тем выше скорость поглощения, то есть выше химическая активность угля, что приводит к быстрому установлению равновесия в системе и снижению концентрации кислорода в частице.

Практический интерес к процессам теплового самовозгорания обусловлен принципиальной возможностью предварительного вычисления безопасных условий переработки и хранения дисперсных веществ, при которых исключается возникновение самопроизвольного горения.

Расчет выполняется с использованием универсального комплексного показателя пожароопасности, разработанный на основе математической модели низкотемпературного окисления органических веществ и использования данных анализа большого числа пожаров, происшедших в различных горно-геологических условиях.

Методика расчета позволяет определить:

склонность шахтопластов к самовозгоранию;

группу пожароопасности;  
 продолжительность инкубационного периода;  
 пороговое значение критерия склонности углей к самовозгоранию.

Исходные данные для расчета:

$V^r$  – массовая доля летучих веществ в угле, %;  
 $m$  – толщина скопления вещества, м;  
 $J$  – газоносность угля, моль/м<sup>3</sup>;  
 $W$  – концентрация влаги в угле, моль/м<sup>3</sup>;  
 $\rho$  – плотность угля, кг/м<sup>3</sup>;  
 $C_o$  – начальная концентрация кислорода в межкусковом пространстве, моль/м<sup>3</sup>;  
 $k_{кр}$  – константа скорости окисления угля, с<sup>-1</sup>;  
 $q_{др}$  – теплота дросселирования метана из угля, Дж/моль;  
 $q_в$  – константа скорости испарения влаги, Дж/моль;  
 $c_v$  – теплоемкость материала (угля) при постоянном объеме, Дж/(кг·К);  
 $T_{кр}$  – критическая температура самовозгорания угля, К;  
 $T_o$  – начальная температура угля, К;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  
 $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

**Порядок расчета**

Используется математическая модель самовозгорания органических веществ за счет химических реакций окисления и теплообмена с окружающей средой, имеющая решение в виде:

$$\frac{T}{T_o} = 1 + \frac{1 - \exp[(\Gamma_T Fo) - \Gamma_v]}{\Gamma_v} \quad (1)$$

где  $T_o$  и  $T$  – начальная и текущая температуры вещества, К;

$\Gamma_v$  – параметр скорости нагревания скопления веществ:

$$\Gamma_v = \frac{3 \cdot Bi}{\Gamma_T} - 1 \quad (2)$$

$Bi$  – критерий Био, определяемый зависимостью:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot m}{\lambda} \quad (3)$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$m$  – толщина скопления органического вещества, м;

$\Gamma_T$  – критерий генерации теплоты, определяемый зависимостями:

– в случае самовозгорания угля:

$$\Gamma_T = \left[ \frac{\xi \cdot C_{O_2} \cdot q_1 \cdot k_{кр} - q_{др} \cdot J_m - q_в \cdot k_в \cdot W}{\rho \cdot c_v \cdot T} \right] \cdot \frac{m^2}{a} \quad (4)$$

– при самоокислении других органических веществ:

$$\Gamma_T = \left[ \frac{\xi \cdot C_{O_2} \cdot q_1 \cdot k_{кр}}{\rho \cdot c_v \cdot T_o} \right] \cdot \frac{m^2}{a} \quad (5)$$

Доля реакционной поверхности, принимающей участие в окислении:

– для угля, определяемая по формуле:

$$\xi = -7,24 \cdot 10^{-6} \cdot (V^T)^2 + 2,99 \cdot 10^{-4} \cdot V^T + 3,76 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

$V^T$  – массовая доля летучих веществ в угле, %;

– для других органических веществ находится при лабораторном исследовании их окислительной способности;

$C_{O_2}$  – концентрация кислорода в веществе, моль/м<sup>3</sup>:

$$C_{O_2} = C_o \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{0,76}{0,83 + 0,0224 \cdot J} \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^6 \right) \right] \quad (7)$$

где  $C_o$  – начальная концентрация кислорода в межкусковом пространстве, моль/м<sup>3</sup>;

$J$  – газоносность пласта, моль/м<sup>3</sup>;

$q_1$  – теплота реакции окисления, Дж/моль, определяется лабораторным путем, или вычисляется по формуле:

$$q_1 = 1,168 \cdot 10^6 \cdot \exp(-127,7 \cdot k_{кр}) \quad (8)$$

$k_{кр}$  – константа скорости окисления, с<sup>-1</sup>;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$c_v$  – теплоемкость материала при постоянном объеме, Дж/(кг·К);

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

$q_{ор}$  – теплота дросселирования метана из угля, Дж/моль;

$J_m$  – скорость выделения из угля метана, моль/(м<sup>3</sup>с), равная:

$$J_m = \frac{J}{t_n} \quad (9)$$

$t_n$  – пороговое время самовозгорания угля, равное  $3 \cdot 10^6$ с;

$k_в$  – константа скорости испарения влаги, с<sup>-1</sup>;

$q_в$  – теплота испарения влаги, Дж/моль;

$W$  – концентрация влаги в угле, моль/м<sup>3</sup>.

$Fo$  – критерий Фурье, определяемый по формуле:

$$Fo = \frac{a \cdot t}{m^2} \quad (10)$$

$t$  – время, с.

Из (1) получено выражение для критерия  $\Gamma_T Fo$  в виде:

$$\Gamma_T Fo_{|Bi \neq 0} = G_n = - \frac{\ln \left[ - \left( \frac{T}{T_o} - 1 - \frac{1}{\Gamma_v} \right) \cdot \Gamma_v \right]}{\Gamma_v} \quad (11)$$

Показатель  $\Gamma_T Fo$ , обозначенный его через  $G_n$ , зависит только от двух параметров  $T/T_o$  и  $\Gamma_v$ .

Этот показатель полностью характеризует скопление вещества толщиной  $m$  при условии наличия кислорода для реакции окисления, дросселирующего эффекта истечения метана из угля на метанообильных пластах, испарения влаги и теплоотвода в окружающую среду, поэтому может быть назван универсальным комплексным показателем пожароопасности.

Если принять в (11), что  $T = T_{кр}$ , подставить значения  $\Gamma_T$  и  $Fo$  из (4) и (10) в (11) и решить равенство относительно  $t$ , то получим время инкубационного периода самовозгорания вещества  $t_{инк}$ :

$$t_{инк|Bi \neq 0} = G_n \cdot \frac{1}{A} = - \frac{\ln \left[ - \left( \frac{T_{кр}}{T_o} - 1 - \frac{1}{\Gamma_v} \right) \cdot \Gamma_v \right]}{\Gamma_v} \cdot \frac{\rho \cdot c_v \cdot T_o}{\xi \cdot C_{O_2} \cdot q_1 \cdot k_{кр} - q_{оп} \cdot J_m - q_6 \cdot k_6 \cdot W} \quad (12)$$

Анализ эндогенных пожаров, возникших в различных условиях, свидетельствует о том, что большинство из них произошло при значении комплексного показателя пожароопасности  $G_n < 0,23$  (68,4 %), 26,6 % при  $G_n$  от 0,23 до 0,33 и 5 % при  $G_n$  от 0,33 до 0,53.

С учетом выполненных исследований предложено следующее разделение органических веществ по группам эндогенной пожароопасности в зависимости от комплексного показателя  $G_n$ :

- I – особо опасные органические вещества  $G_n < 0,23$ ;
- II – пожароопасные вещества  $0,23 < G_n < 0,33$ ;
- III – малоопасные вещества  $0,33 < G_n < 0,53$ .

Предлагаемое категорирование эндогенной пожароопасности не противоречит руководящим документам, но основано на анализе физических процессов, происходящих при низкотемпературном окислении веществ.

Так как показатель  $G_n$  зависит от соотношения  $T_{кр}/T_o$ , то определим диапазон этого соотношения по числу случаев  $M$  распределения относительных критических температур самовозгорания  $T_{кр}/T_o$  различных органических веществ, представленный на рис. 2.

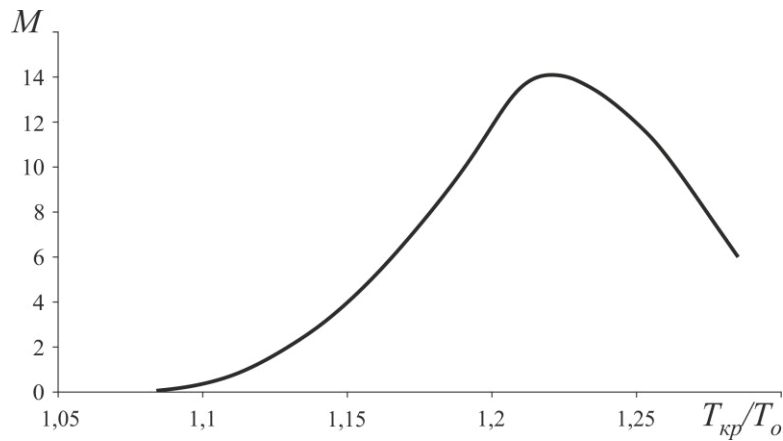


Рис. 2 Распределение относительных критических температур  $T_{кр}/T_o$  пожароопасных органических веществ по числу случаев  $M$

Как видно из рисунка,  $T_{кр}/T_o$  подчиняется нормальному закону распределения. При этом в более чем 75 % случаев изменение  $T_{кр}/T_o$  находится в диапазоне от 1,1 до 1,3, т.е. в среднем составляет 1,23, что соответствует  $G_n = 0,3$ . Учитывая сказанное, с некоторым допущением будем принимать диапазон  $T_{кр}/T_o$  от 1,05 до 1,45.

Величину параметра  $\Gamma_v$  необходимо брать в пределах от  $\ln(T_{кр}/T_o) = -1$  (при  $Bi = 0$ ) до значения  $\Gamma_v = -\frac{1}{2} \cdot \ln\left(3 - 2 \cdot \frac{T_{кр}}{T_o}\right) = 1,2$  (при  $Bi = \Gamma_T$  и  $T_{кр}/T_o = 1,45$ ). Использование значений  $\Gamma_v = 1,2$  и  $T_{кр}/T_o = 1,45$  в выражение (9) дает значение  $G_n = 0,65$ , превышающее крайнее значение III группы пожароопасности ( $G_n = 0,53$ ).

С учетом пределов изменения параметров  $\Gamma_v$  и  $T_{кр}/T_o$  построена номограмма для вычисления  $G_n$  и установления группы пожароопасности, представленная на рис. 3.

Порядок определения группы пожароопасности органического вещества по номограмме показан пунктирными стрелками.

Инкубационный период самовозгорания вещества  $t_{инк}$  определяется умножением найденного по номограмме показателя  $Gn$  на величину  $B = \frac{m^2}{\Gamma_T \cdot a}$ , т.е.:

$$t_{инк} = G_n \cdot \frac{m^2}{\Gamma_T \cdot a} \quad (13)$$

где  $\Gamma_T$  находится по выражениям (4) или (5).

Рассмотрим два характерных случая низкотемпературного окисления веществ, приводящего к его самовозгоранию.

Случай  $\Gamma_T = Bi$ , генерация теплоты равна теплоотводу. Формула для вычисления параметра  $B$  с заменой  $\Gamma_T$  на  $Bi$  упрощается и принимает вид  $B = \frac{m \cdot \lambda}{\alpha \cdot a}$  выражение для вычисления инкубационного периода самовозгорания вещества будет:

$$t_{инк} = G_n \cdot \frac{m \cdot \lambda}{\alpha \cdot a} \quad (14)$$

В этом случае инкубационный период самовозгорания скопления окисляющегося вещества зависит только от его размеров, теплофизических параметров и величины  $T_{кр}/T_o$ . Показатель  $G_n$  в зависимости от  $T_{кр}/T_o$  находим по номограмме. Определенная таким образом величина  $t_{инк}$  отвечает случаю максимальных теплопотерь вещества, при которых еще возможно его самовозгорание. Величина  $t_{инк}$  будет несколько больше определенной при  $Bi < \Gamma_T$ .

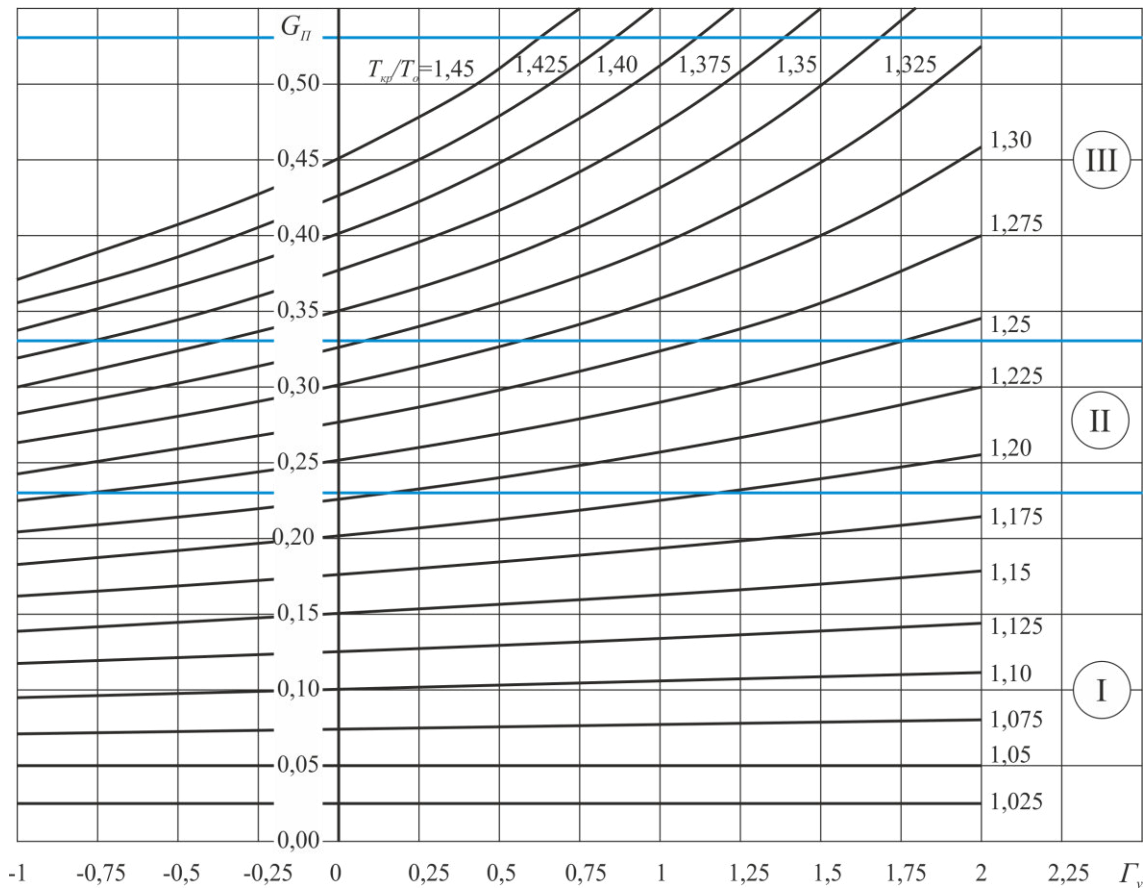


Рис. 3. Номограмма для определения группы пожароопасности органического вещества и расчета инкубационного периода

Случай  $Bi = 0$ , отсутствие теплоотвода. Значение  $t_{инк}$  будет минимальным. Показатель  $G_n$  находим аналогичным образом. Критерий  $\Gamma_T$  находим по формулам (4) и (5), а инкубационный период по формуле (13).

**Пример.** Определить группу пожароопасности скопления угля для пласта  $l_l$  и инкубационный период его самовозгорания при исходных данных:  $V^p = 9 \%$ ;  $m = 0,4$  м;  $J = 625$  моль/м<sup>3</sup>;  $W = 2489$  моль/м<sup>3</sup>;  $\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_o = 9,36$  моль/м<sup>3</sup>;  $k_{кр} = 2 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup>;  $q_{др} = 15000$  Дж/моль;  $q_e = 1445,8$  Дж/моль;  $k_e = 1,07 \cdot 10^{-5}$  с<sup>-1</sup>;  $c_v = 1400$  Дж/(кг·К);  $T_{кр} = 380$  К;  $T_o = 300$  К;  $\alpha = 0,072$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda = 0,3$  Вт/(м·К);  $a = 1,5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

**Порядок расчета:**

1. Концентрация кислорода (ф. 7):

$$C_{O_2} = C_o \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{0,76}{0,83 + 0,0224 \cdot J} \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^6\right) \right] =$$

$$= 9,36 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{0,76}{0,83 + 0,0224 \cdot 625} \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^6\right) \right] = 7,635 \text{ моль/м}^3$$

2. Теплота реакции окисления для данного угля (ф. 8):

$$q_1 = 1,168 \cdot 10^6 \cdot \exp(-127,7 \cdot k_{кр}) = 1,168 \cdot 10^6 \cdot \exp(-127,7 \cdot 0,002) = 9,047 \text{ Дж/моль}$$

3. Доля реакционной поверхности угля (ф. 6):

$$\xi = -7,24 \cdot 10^{-6} \cdot (V^r)^2 + 2,99 \cdot 10^{-4} \cdot V^r + 3,76 \cdot 10^{-3} =$$

$$= -7,24 \cdot 10^{-6} \cdot 9^2 + 2,99 \cdot 10^{-4} \cdot 9 + 3,76 \cdot 10^{-3} = 0,0059$$

4. Скорость выделения метана из угля (ф. 9):

$$J_m = \frac{J}{t_n} = \frac{625}{3 \cdot 10^6} = 2,083 \cdot 10^{-4} \text{ моль/м}^3 \cdot \text{с}$$

5. Критерий генерации теплоты для угля (ф.4):

$$\Gamma_T = \left[ \frac{\xi \cdot C_{O_2} \cdot q_1 \cdot k_{кр} - q_{др} \cdot J_m - q_6 \cdot k_6 \cdot W}{\rho \cdot c \cdot T_A} \right] \cdot \frac{m^2}{a} =$$

$$= \left[ \frac{0,0059 \cdot 7,635 \cdot 9,047 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} - 15000 \cdot 2,083 \cdot 10^{-4} - 1445,8 \cdot 1,07 \cdot 10^{-5} \cdot 2489}{1400 \cdot 1400 \cdot 300} \right] \cdot$$

$$\cdot \frac{0,4^2}{1,5 \cdot 10^{-7}} = 0,141$$

$$A = 1,318 \cdot 10^{-7}$$

6. Критерий теплоотдачи (ф. 3):

$$Bi = \frac{\alpha \cdot m}{\lambda} = \frac{0,072 \cdot 0,4}{0,3} = 0,096$$

7. Параметр скорости нагревания угольного скопления (ф. 2):

$$\Gamma_v = \frac{3 \cdot Bi}{\Gamma_T} - 1 = \frac{3 \cdot 0,096}{0,141} - 1 = 1,043$$

8. По номограмме (рис. 3) для  $\Gamma_v = 1,043$  и  $T_{кр}/T_o = 1,27$  находим  $G_n = 0,32$ , что соответствует II группе пожароопасности.

9. По формуле (12) вычисляется инкубационный период самовозгорания угля:

$$t_{инк} = G_n \cdot \frac{1}{A} = 0,32 \cdot \frac{1}{1,318 \cdot 10^{-7}} = 2,428 \cdot 10^6 \text{ с} \sim 28 \text{ сут}$$

Таким образом, скопления угля относятся ко II группе пожароопасности с инкубационным периодом самовозгорания 28 сут.



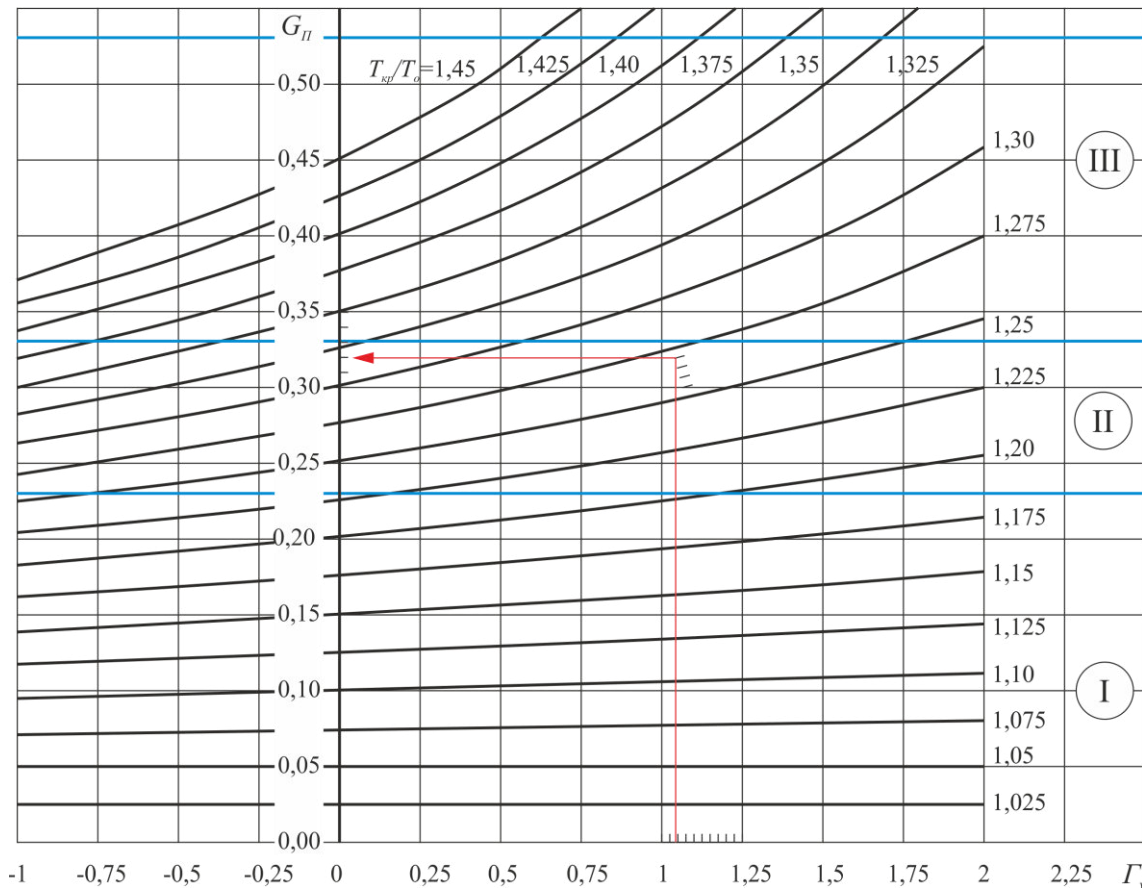


Рис. 3. Номограмма для определения группы пожароопасности скопления угля пласта  $l_1$  для  $G_v = 1,043$  и  $T_{sp}/T_o = 1,27$ .

### Практическая работа № 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ПОЖАРА

**Цель:** ознакомиться с графическим и аналитическим методами оценки основных параметров развития подземного пожара

##### 1. Экспресс-метод определения параметров развития пожара

*Данный метод используется только в тех случаях, когда для практических целей не требуется точного определения параметров развития пожара, или когда для точных расчетов нет времени.*

Методика расчета экспресс методом позволяет определить:  
 скорость распространения пожара на момент начала его тушения;  
 дальность распространения пожара к моменту начала его тушения.

Исходные данные для расчета:

$V_g$  – скорость вентиляционного потока в выработке, м/с;

$\tau$  – продолжительность действия пожара, мин;

вид источника воспламенения;

вид основных горючих материалов в выработке.

### Порядок расчета

По виду горючих материалов и скорости вентиляционного потока в аварийной выработке определяем по табл. 1 классификацию подземного пожара:

Таблица 1

Классификация подземного пожара

Вид горючих материалов в выработке	Скорость вентиляционного потока, м/с				
	менее 1	1-2	2-3	3-4	более 4
Горючая крепь (стойки, верхняки, затяжки)	III	III	III	II	I
То же при наличии конвейерной ленты: горючей	III	III	III	II	II
трудногорючей	III	III	III	II	I
Горючая затяжка с негорючими стойками и верхняками	III	II	II	I	I
То же при наличии конвейерной ленты: горючей	III	III	II	I	I
трудногорючей	III	II	II	I	I
Негорючая (трудногорючая) крепь при наличии конвейерной ленты: горючей	III	II	I	I	I
трудногорючей	III	III	III	III	III

**Примечание.** В других случаях, если в горении не принимает участие деревянная крепь (затяжка) или конвейерная лента, независимо от скорости вентиляционного потока пожары относятся к III классу

Затем по графику (рис. 1) на заданное время определяется скорость распространения пожара по выработке, а по графику (рис. 2) – пройденное им расстояние с момента возникновения.

При этом, чем выше категория источника воспламенения, тем ближе значения параметров пожара к верхним предельным кривым каждого класса.

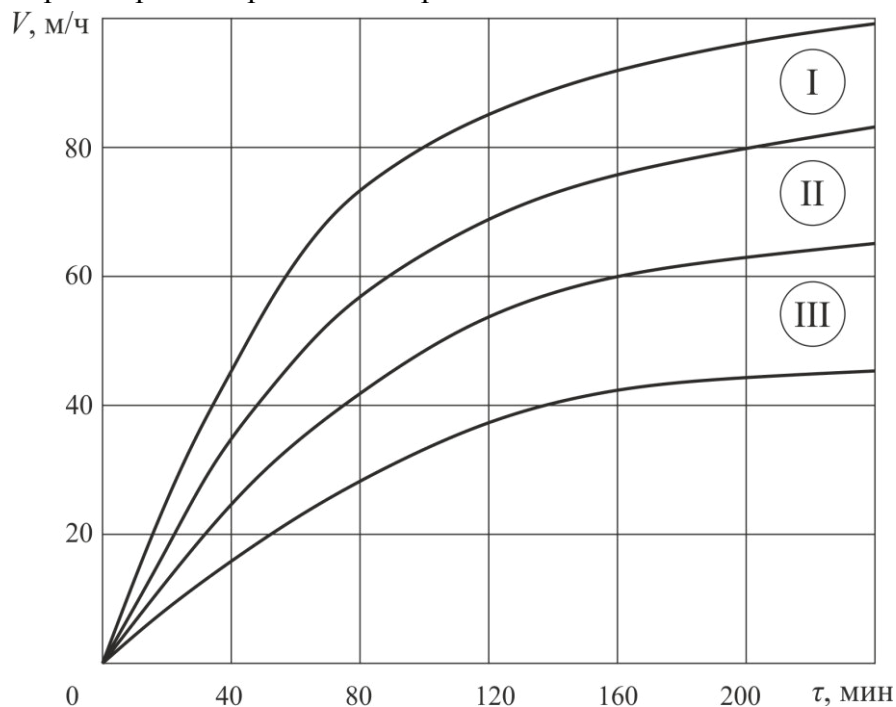


Рис. 1. Скорость распространения подземных пожаров в зависимости от их класса (I, II, III).

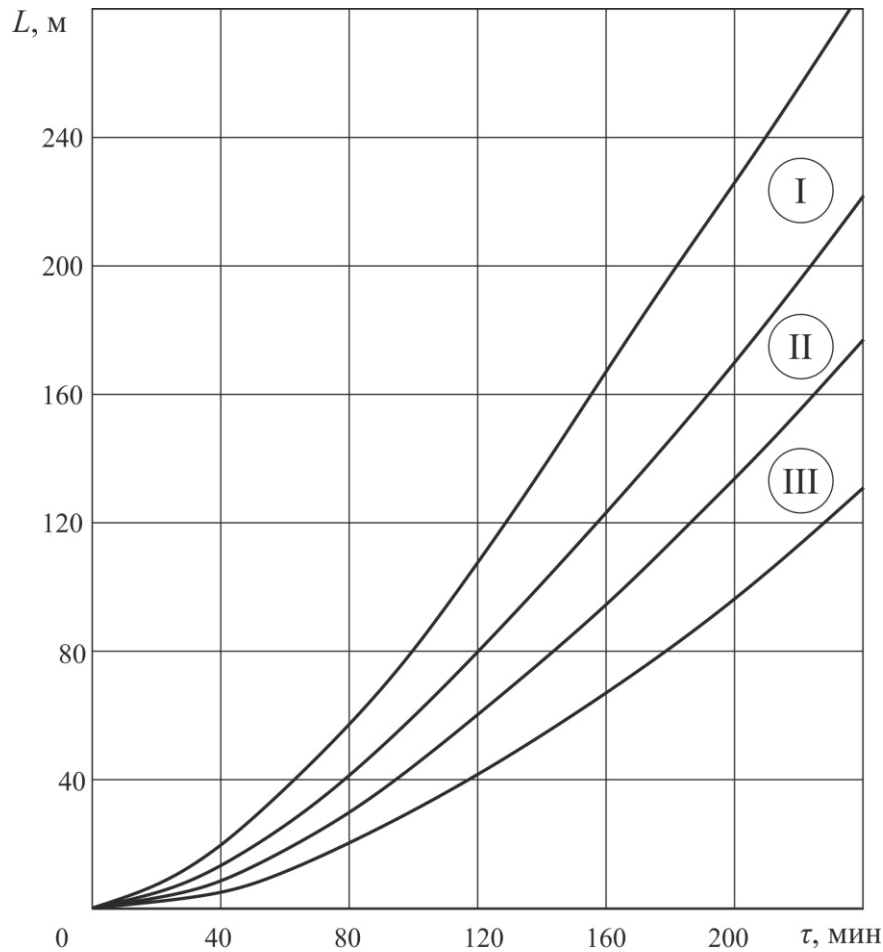


Рис. 2. Дальность распространения подземных пожаров в зависимости от их класса (I, II, III).

Категория источника воспламенения определяется по табл. 2.

Таблица 2

Классификация источников воспламенения горючих веществ и материалов в горных выработках угольных шахт

Категория источника по тепловой мощности	Характеристика источника воспламенения	Возможная площадь горячей поверхности выработки в момент возникновения пожара, м <sup>2</sup>
Высшая	Воспламенение минерального масла или его паров при перегревании или при повреждении гидросистем выемочных комплексов и передвижных крепей, корпусов масляных трансформаторов, турбомуфт и другого маслonaполненного оборудования	свыше 10
	Воспламенение метана на значительных площадях вследствие выгорания или выброса раскаленных частей ВМ или искрообразования от трения исполнительных органов выемочных, проходческих и буровых машин	то же

Средняя	Воспламенение конвейерной ленты из-за трения при пробуксовке на приводных барабанах	от 1 до 10
	Локальное воспламенение метана при взрывных работах или от трения исполнительных органов выемочных, проходческих и буровых машин	то же
	Воспламенение горючих материалов от тепловых импульсов при продолжительном коротком замыкании токопроводящих жил в гибких и бронированных кабелях и контактных проводах	то же
Низшая	Воспламенение горючих материалов из-за трения конвейерной ленты об неисправные ролики, роlikоопоры конвейера или элементы крепления выработки	до 1
	Воспламенение горючих материалов от тепловых импульсов при кратковременном коротком замыкании токопроводящих жил гибких и бронированных кабелей и контактных проводов	то же
	Воспламенение горючих материалов от расплавленных капель металла, искр, раскаленных электродов при ведении огневых работ	то же
	Воспламенение горючих материалов от открытого огня (курение в выработках, разведение костров, применение нагревательных приборов)	до 1
	Выгорание или выброс раскаленных частиц ВМ из-за нарушения правил ведения взрывных работ и зажигания твердых горючих веществ (дерево, уголь и др.)	до 1

**Пример.** Определить скорость и дальность распространения пожара к моменту начала его тушения при следующих исходных данных:  $V_g = 2$  м/с;  $\tau = 80$  мин. Вид основных горючих материалов в выработке: горючая конвейерная лента, горючая затяжка с негорючими стойками и верхняками (смешанная крепь).

**Решение.** С учетом вида основных горючих материалов – горючая конвейерная лента + горючая затяжка с негорючими стойками и верхняками – и скорости вентиляционного потока в выработке 2 м/с по табл. 2 классифицируем подземный пожар как пожар III класса.

Категория источника воспламенения – низшая (воспламенение горючих материалов из-за трения конвейерной ленты об неисправные ролики, роlikоопоры конвейера или элементы крепления выработки)

По графику (рис. 1) на заданное время  $\tau = 80$  мин определяется скорость распространения пожара III класса по выработке:  $V_{min} \sim 28$  м/ч (0,5 м/мин);  $V_{np} = 42$  м/ч (0,7 м/мин) (рис. 3)

По графику (рис. 2) пройденное пожаром расстояние с момента возникновения составляет:  $L_{min} = 20,5$ ; м,  $L_{np} = 30$  м (рис. 4).

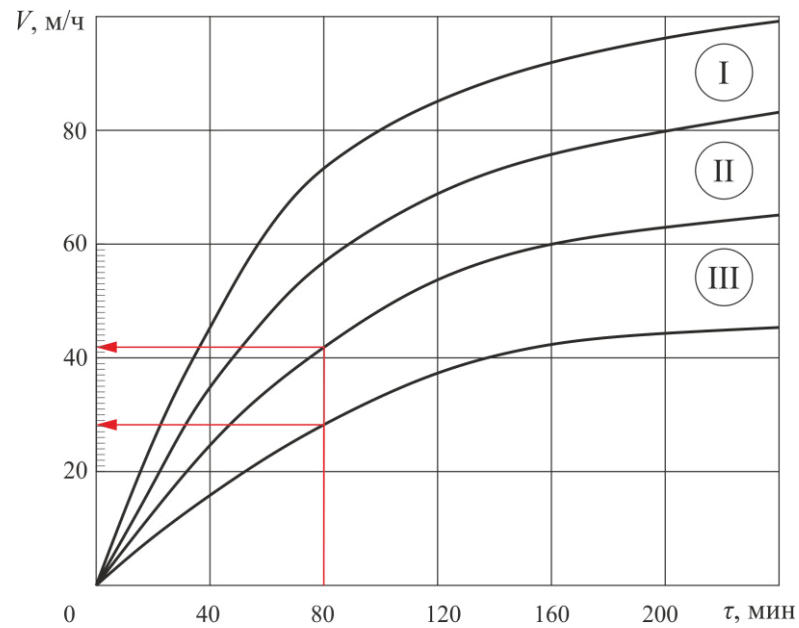


Рис. 3. Скорость распространения подземного пожара III класса,  $\tau = 80$  мин.

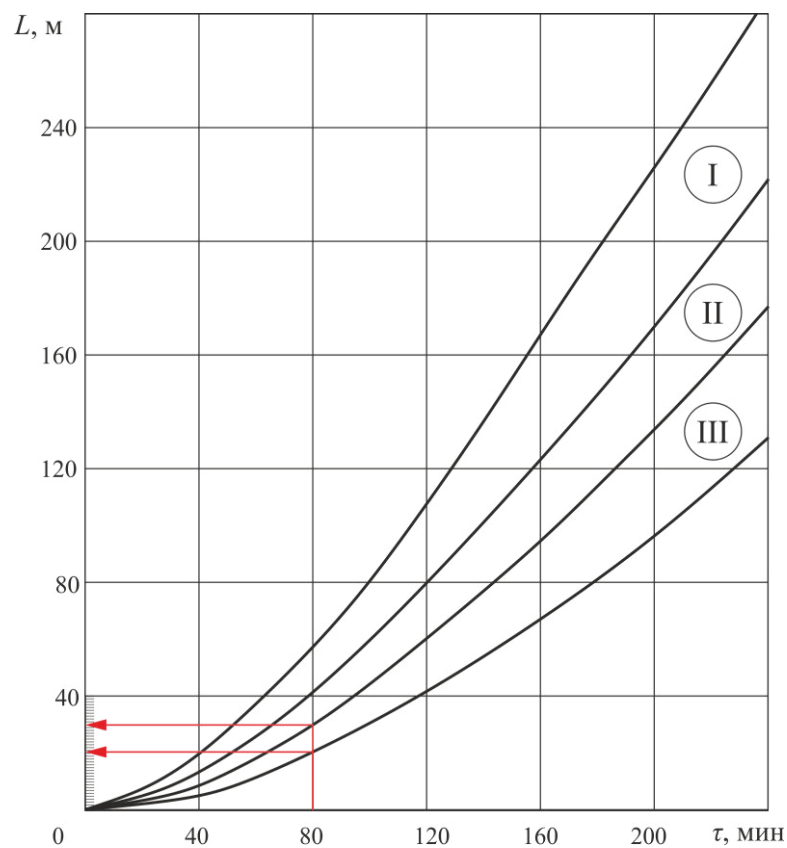


Рис. 4. Дальность распространения подземного пожара III класса,  $\tau = 80$  мин.

Ввиду низшей категории источника воспламенения принимаются минимальные значения скорости и дальности распространения пожара к моменту начала его тушения –  $V = 28$  м/ч и  $L = 20,5$  м, соответственно.

## 2. Расчетный метод определения параметров развития пожара

Данная методика расчета позволяет определить:  
 скорость распространения пожара в момент начала тушения;  
 дальность распространения пожара на этот же момент;  
 температуру горючих газов в очаге пожара;  
 температуру в выработке на заданном расстоянии за очагом пожара;  
 площадь горящей поверхности;  
 расход материала на горение в единицу времени.

Исходные данные для расчета

$V_в$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с.

$S$  – площадь сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>.

$t$  – время действия пожара, мин.

$T_о$  – температура поступающего в зону горения воздуха, °С.

$C_о$  – концентрация кислорода на свежей струе, %.

$C$  – концентрация кислорода на исходящей, %.

$P$  – периметр выработки, м.

Вид и количество горючих материалов в выработке.

Вид и материал крепи.

**Порядок расчета**

Предельная скорость перемещения пожара по горной выработке  $V_{np}$ , м/с:

$$V_{np} = \frac{Q_в}{q_о} \quad (1)$$

где  $Q_в$  – расход воздушного потока в выработке, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_в = S \cdot V_в \quad (2)$$

где  $V_в$  – скорость вентиляционной струи в горной выработке, м/с;

$S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;

$q_о$  – объем воздуха, расходуемого на сгорание пожарной нагрузки на 1 м выработки, м<sup>3</sup>/м:

$$q_о = \sum_{i=1}^n q_{oi} \quad (3)$$

$q_{oi}$  – объем воздуха для полного выгорания  $i$ -го вида горючей нагрузки, м<sup>3</sup>/м (табл. 3, 4).

$n$  – количество видов горючих материалов в аварийной выработке (конвейерная лента, кабель, уголь, древесина).

При расчете пожарной загрузки конвейерных выработок, закрепленных деревянной затяжкой, загрузкой других горючих материалов, таких, как силовые кабели, мелкие скопления угля и угольной пыли, можно пренебречь. Указанная загрузка составляет менее 5 кг на 1 м выработки по сравнению с десятками и сотнями килограммов на 1 м соответственно конвейерной ленты и деревянной затяжки.

Для практических расчетов объем воздуха  $q_о$ , необходимого для полного выгорания горючей нагрузки  $q_{нв}$ , может определяться по табл. 4. Если горная выработка полностью закреплена деревянной крепью (рамы и затяжки), то приведенные в табл. 4 значения горючей

нагрузки необходимо увеличить в 2 раза при расстоянии между рамами до 0,8 м и в 1,5 раза – при расстоянии более 0,8 м.

Таблица 3

Необходимый расход воздуха в горной выработке для полного выгорания с учетом суммарной горючей загрузки\*\*

Горючие материалы	Горючая нагрузка $q_{ni}$ , кг/м	Объем воздуха для полного ее выгорания, $q_{oi}$ , м <sup>3</sup> /м
1 ветвь* ленты резинотросовой: 800 мм 1000 мм 1200 мм	16-19 20-24 24-29	160-190 200-240 240-290
1 ветвь ленты резинотканевой: 800 мм 1000 мм 1200 мм	8-16 10-20 12-24	80-120 100-200 120-240
Деревянные трапы	13	50
Деревянные элемента конструкции конвейера	2,5	10
Кабель гибкий силовой 1 шт.	2-3	20-25
Угольная мелочь	5	40
Деревянная (или смешанная) крепь:  при $S = 8,9$ м <sup>2</sup> ; $P_3 = 9,6$ м при $S = 11,2$ м <sup>2</sup> ; $P_3 = 10,9$ м	211 240	844 960

**Примечание.** \* – для конвейерной ленты принимается двукратное значение показателей, т.к. при пожаре обычно горят обе ее ветви; \*\* – если фактические величины отличаются от табличных, то искомые значения получаем методом интерполяции.

Таблица 4

Горючая нагрузка и расход воздуха на полное ее выгорание в выработках с арочным креплением и деревянными затяжками

Площадь сечения выработки в свету $S$ , м <sup>2</sup>	Периметр сечения выработки с горючей нагрузкой $P^*$ , м	Удельная горючая нагрузка $q_n$ , кг/м	Объем воздуха для полного выгорания горючей нагрузки $q_o$ , м <sup>3</sup> /м
Одно- и двухрельсовые выработки с арочным креплением			
5,2	7,9	174	696
6,0	8,7	192	770
7,1	8,9	196	785
8,9	9,4	207	825
11,2	10,5	231	925
12,7	11,3	249	995
13,1	11,6	255	1029
Конвейерные выработки с арочным креплением			
7,4	9,2	202	810
9,3	9,6	211	845
11,6	10,9	240	960

**Примечание.** \* – часть периметра выработки, закрепленной деревянной затяжкой определяется как  $3,3\sqrt{S}$

В зависимости от скорости вентиляционного потока и вида горючих материалов по таблице определяем значение параметра  $b$  (мин) (табл. 5).

При наличии информации о расстоянии, пройденном пожаром по выработке  $L_{\phi}$ , и о времени, за которое оно пройдено с начала горения  $\tau_{\phi}$ , величину параметра  $b$  (мин) можно определить по формуле:

$$b = \frac{V_{np} \cdot \tau_{\phi}^2}{2 \cdot L_{\phi}} + \frac{L_{\phi}}{2 \cdot V_{np}} \quad (4)$$

Табл. 5

Параметр  $b$ , характеризующий скорость развития пожара, мин

Вид горючих материалов	Скорость вентиляционного потока, м/с		
	до 1	1-3	более 3
Конвейерная лента с негорючей крепью	12	120-200	200
Конвейерная лента со смешанной крепью	40	40-80	80
Смешанная крепь	60	60-150	150
Деревянная крепь	40	40-80	80

Определяем скорость распространения пожара на любое заданное время (м/мин):

$$V = V_{np} \cdot \frac{\tau}{\sqrt{\tau^2 + b^2}} \quad (5)$$

где  $\tau$  – время действия пожара, мин (исходные данные);

$b$  – параметр, характеризующий скорость развития пожара, мин;

$V_{np}$  – предельная (максимально возможная в данных условиях) скорость распространения пожара по выработке.

Определяем дальность распространения пожара на любое заданное время (м):

$$L_n = V_{np} \cdot (\sqrt{\tau^2 + b^2} - b) \quad (6)$$

Определяем температуру пожарных газов в зоне горения ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$t_{оч} = t_o + 221 \cdot \sqrt{C_o - C} \quad (7)$$

где  $t_o$  – температура на свежей струе,  $^{\circ}\text{C}$  (исходные данные);

$C_o$  – концентрация кислорода на свежей струе, % (исходные данные);

$C$  – концентрация кислорода на исходящей струе, % (исходные данные).

Коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха к стенкам выработки,  $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$ :

$$\alpha = 4,42 + 3,54 \cdot V_g \quad (8)$$

где:  $V_g$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с (исходные данные)

Массовый расход воздуха в выработке  $\text{кг}/\text{ч}$ :

$$Q_m = 3600 \cdot V_g \cdot S \cdot \rho_g \quad (9)$$



где  $\rho_e$  – плотность воздуха ( $\rho_e = 1,293 \text{ кг/м}^3$ );

$V_e$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с (исходные данные);

$S$  – площадь сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$  (исходные данные).

Определяем среднюю температуру воздуха за очагом пожара на заданном расстоянии от него (сопряжение конвейерного штрека с лавой):

$$t_L = t_o + (t_{оч} - t_o) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{Q_m \cdot C_p}} \quad (10)$$

где  $t_o$  – температура на свежей струе,  $^{\circ}\text{C}$  (исходные данные);

$t_{оч}$  – температура пожарных газов в зоне горения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха к стенкам выработки,  $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$$L = L_o - L_n \quad (11)$$

где:  $L_o$  – расстояние от места возникновения пожара до сечения, для которого рассчитывается температура, м;

$L_n$  – дальность распространения пожара на момент расчета;

$P$  – периметр выработки, м (исходные данные);

$Q_m$  – массовый расход воздуха в выработке  $\text{кг/ч}$ ;

$C_p$  – удельная теплоемкость воздуха ( $C_p = 0,24 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ );

$e$  – постоянная математическая величина ( $e = 2,71$ ).

Определяем площадь горящей поверхности ( $\text{м}^2$ ). При горении и деревянных элементов крепи и конвейерной ленты суммарная площадь горения равна:

$$S_r = L_n \cdot (P_3 + 2 \cdot B_1) \quad (12)$$

где  $L_n$  – дальность распространения пожара на момент расчета;

$B_1$  – ширина конвейерной ленты, м;

$P_3$  – периметр затягиваемой деревянной затяжкой поверхности выработки (определяется по табл. 3). В таблице приведены данные для металлокрепи с полной перетяжкой деревянной затяжкой, поэтому для расчетов принимаем величину  $P_3$  при деревянных стойках и верхняке с затяжкой металлической решеткой, если деревянные только стойки принимаем  $0,75 \cdot P_3$ , если все деревянное, то принимаем к расчету величину  $2 \cdot P_3$ .

**Пример.** Оценить параметры подземного пожара в 6-м южном конвейерном штреке на начальной стадии ( $\tau_o$ , расчетные параметры:  $V_{np}$ ,  $L_n$ ,  $S_r$ ) и развившегося ( $\tau_l$ ) при следующих исходных данных:  $V_e = 2 \text{ м/с}$ ;  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $\tau_o = 15 \text{ мин}$ ;  $\tau_l = 80 \text{ мин}$ ;  $t_o = 25^{\circ}\text{C}$ ;  $C_o = 21\%$ ;  $C = 4,4\%$ ;  $L_o = 100 \text{ м}$ ;  $P = 11,4 \text{ м}$ ;  $Q = 1080 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Вид горючих материалов в выработке: резинотканевая конвейерная лента шириной  $B_1 = 1000 \text{ мм}$ ), уголь (КЛ+У);  $b = 120 \text{ мин}$  (КЛ с негорючей крепью, табл. 4). Схема проветривания выемочного участка (рис. 5): 2–М–Н–в–в–т (см. пояснения в прил. 1, табл. 1).

**Решение:**

1. Определяем суммарную горючую загрузку и расход воздуха для полного ее выгорания (для 2 конвейерных ветвей) (ф. 3):

$$q_o = \sum_{i=1}^n q_{o_i} = 2 \cdot 200 + 40 = 440 \text{ м}^3/\text{м}$$

2. С учетом скорости вентиляционного потока  $V_g = 2 \text{ м/с}$  и вида основных горючих материалов (КЛ+У) по табл. 4 значение параметра  $b = 120 \text{ мин}$ .

3. Расход воздушного потока в выработке (ф. 2):

$$Q_g = S_g \cdot V_g = 9 \cdot 2 = 18 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (1080 м}^3/\text{мин)}$$

4. Предельная скорость перемещения пожара по горной выработке (ф. 1):

$$V_{np} = \frac{Q_g}{q_o} = \frac{18}{440} = 0,04 \text{ м/с (2,4 м/мин)}$$

Начальная стадия развития (t = 20 мин):

5. Скорость распространения пожара (ф. 5):

$$V = V_{np} \cdot \frac{\tau}{\sqrt{\tau^2 + b^2}} = 2,4 \cdot \frac{20}{\sqrt{20^2 + 120^2}} = 0,4 \text{ м/мин}$$

6. Дальность распространения пожара (ф. 6):

$$L_n = V_{np} \cdot (\sqrt{\tau^2 + b^2} - b) = 2,4 \cdot (\sqrt{20^2 + 120^2} - 120) = 4,1 \text{ м}$$

7. Площадь горящей поверхности (2 ветвей конвейерной ленты) (ф. 12):

$$S_T = L_n \cdot (2 \cdot B_1) = 4,1 \cdot (2 \cdot 1) = 8,2 \text{ м}^2$$

Развившийся к 80 мин:

8. Скорость распространения пожара (ф. 5):

$$V = V_{np} \cdot \frac{\tau}{\sqrt{\tau^2 + b^2}} = 2,4 \cdot \frac{80}{\sqrt{80^2 + 120^2}} = 1,3 \text{ м/мин}$$

9. Дальность распространения пожара (ф. 6):

$$L_n = V_{np} \cdot (\sqrt{\tau^2 + b^2} - b) = 2,4 \cdot (\sqrt{80^2 + 120^2} - 120) = 58,1 \text{ м}$$

10. Определяем температуру пожарных газов в зоне горения (ф.10):

$$t_{oc} = t_o + 221 \cdot \sqrt{C_o - C} = 25 + 221 \cdot \sqrt{21 - 4,4} = 931 \text{ }^\circ\text{C}$$

11. Коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха к стенкам выработки (ф. 8):

$$\alpha = 4,42 + 3,54 \cdot V_g = 4,42 + 3,54 \cdot 2 = 11,5 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$$

12. Массовый расход воздуха в выработке (ф. 9):

$$Q_m = 3600 \cdot V_g \cdot S \cdot \rho_g = 3600 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 1,293 = 83786,4 \text{ кг/ч}$$

13. Средняя температура воздуха на сопряжении конвейерного штрека с лавой в 150 м от очага пожара (ф. 1-110):

$$L = L_o - L_n = 150 - 58,1 = 91,9 \text{ м}$$

$$T_L = T_o + (T_{oc} - T_o) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{Q_m \cdot C_p}} = 25 + (931 - 25) \cdot 2,71^{-\frac{11,5 \cdot 11,4 \cdot 91,9}{83786,4 \cdot 0,24}} = 523 \text{ }^\circ\text{C}$$

14. Площадь горящей поверхности (2 ветви конвейерной ленты) (ф. 12):

$$S_T = L_n \cdot (2 \cdot B_1) = 58,1 \cdot (2 \cdot 1) = 116,2 \text{ м}^2$$

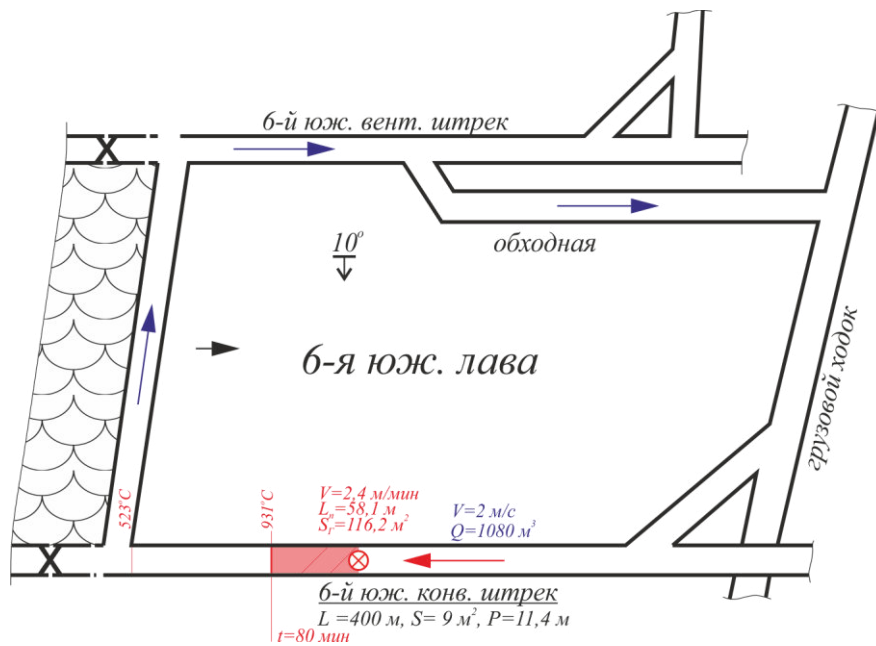


Рис. 5. Параметры развития подземного пожара в 6-м южном конвейерном штрেকে выемочного участка 6-й южной лавы пласта  $k_5$  (М 1:5000) на  $t = 80$  мин.

## Приложение

Таблица 1

### Классификация схем проветривания выемочных участков

Основное классификационное деление	Классификационный признак	Варианты признака	Условные обозначения
Тип	Степень обособленности разбавления вредностей по источникам поступления	последовательное	1
		частичное	2
		полное	3
Подтип	Направление выдачи исходящей из лавы струи воздуха	на выработанное пространство	В
		на массив угля	М
		комбинированное	К
Класс	Зависимое или независимое проветривание очистных выработок	независимое	Н
		зависимое	З
Подкласс	Направление движения воздуха по очистному забою	восходящее	в
		нисходящее	н
		горизонтальное	г
Вид	Взаимное направление свежей и исходящей струй	возвратноточное	вт
		прямоточное	пт

### Практическая работа № 4

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА СПЛОШНЫМИ ВОДНЫМИ СТРУЯМИ.

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров тушения пожаров сплошными водяными струями

Наиболее распространенным и дешевым средством тушения рудничных пожаров является вода. Она действует на горящее тело одновременно как охлаждающее и как изолирующее от воздуха средство. Ценным качеством воды является ее высокая теплоемкость и, следовательно – способность отнимать от горящего тела значительные количества тепла.

Теплоемкость воды равна  $1 \text{ ккал/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ; для нагревания 1 л воды с начальной температурой 20 до  $100^{\circ}\text{C}$  требуется (приблизительно принимая теплоемкость в этом интервале температур постоянной) 80 ккал. Для превращения 1 л воды при  $100^{\circ}\text{C}$  в пар с температурой  $100^{\circ}\text{C}$  необходимо израсходовать 539 ккал. Следовательно, при полном использовании воды в качестве огнегасительного средства, 1 л воды способен поглотить 619 ккал тепла. Вода не только действует охлаждающим образом на горящее тело, но и изолирует его от окружающего воздуха: образующийся из воды пар оттесняет воздух от горящего тела. При полном испарении из каждого литра воды образуется 1700 л пара.

Вода для тушения рудничных пожаров может быть использована в виде компактной струи, подаваемой под давлением, или в распыленном виде, или, наконец, в виде струи пара, подаваемого под давлением. В первом случае действие воды на горящее тело усиливается благодаря механическому эффекту: благодаря удару струи горящие частицы дробятся, и струя глубоко проникает в горящее тело. В угольных шахтах и рудниках для усиления механического действия водяной струи используют гидромониторы с насосами, развивающими давление до 10 ат.

При разбрызгивании или распылении образуется сразу большая поверхность соприкосновения воды с горящим телом, что увеличивает скорость теплопередачи и образования изолирующего слоя. В распыленном виде вода может применяться для тушения как твердых, так и жидких горящих материалов, а также для охлаждения пожарных газов в целях предупреждения распространения огня. В угольных шахтах распыленная вода используется для образования водяных завес, останавливающих распространение огня в подземных выработках.

Вода в виде струй пара, подаваемых к очагу пожара в больших количествах, в качестве самостоятельного средства пожаротушения применяется в нефтяной промышленности для тушения пожаров нефтяных фонтанов.

Растворение в воде некоторых солей повышает ее охлаждающие и изолирующие свойства. Растворы солей обладают большей удельной теплоемкостью и более высокой температурой кипения по сравнению с чистой водой; кроме того, разложение солей при высокой температуре также происходит с поглощением тепла. При тушении горящих веществ растворами солей поверхность этих веществ покрывается коркой соли, препятствующей доступу кислорода. Образующаяся при разложении углекислых солей двуокись углерода также оттесняет воздух от соприкосновения с горящим телом. Эти свойства растворов позволяют их применять для тушения глубоких пожаров разрыхленных масс, например горящих отвалов породы с примесью горючих веществ (угля, углистого сланца). В качестве добавок, усиливающих огнегасительные свойства воды, применяются: двууглекислый натрий  $\text{NaHCO}_3$ , хлористый натрий (поваренная соль)  $\text{NaCl}$ , углекислый

натрий (сода)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , хлористый аммоний (нашатырь)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , сернокислый натрий (глауберова соль)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , сернокислый магний  $\text{MgSO}_4$ , хлористый кальций  $\text{CaCl}_2$ , углекислый калий (поташ)  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Добавление к двууглекислому натрию может усилить ее охлаждающую способность на 30 ккал.

Несмотря на перечисленные качества, вода не является универсальным средством тушения подземных пожаров по следующим причинам:

– воду опасно применять при тушении электроустановок проводов под током, так как струя воды, в особенности компактная, является проводником электрического тока. Сопротивление воды, в которой растворено значительное количество солей, во много раз меньше сопротивления пресной воды. Проводимость морской воды, например, в сто раз выше проводимости дождевой воды.

– при тушении горящих веществ при температуре  $1000^\circ$  и выше происходит диссоциация воды – разложение ее на водород и кислород; образовавшаяся гремучая смесь может давать взрывы значительной силы.

– в ограниченном пространстве подземных выработок образование больших количеств пара опасно, так как при быстром заполнении выработок пар может вызвать тяжелые ожоги людей.

– вода в виде компактной струи (т. е. при отсутствии специальных разбрызгивателей) непригодна для тушения горящих жидкостей: вследствие большего удельного веса она не остается на поверхности, а вызываемое струей разбрызгивание горячей жидкости содействует распространению огня.

#### ***Общие положения по устройству пожарно-оросительного трубопровода***

Система пожарного водоснабжения шахты складывается из наружных сетей, расположенных на промплощадке, внутренних сетей в зданиях и сооружениях и сети пожарно-оросительного трубопровода в горных выработках.

Подача воды в шахту осуществляется не менее чем по двум самотечным трубопроводам – рабочему и резервному, для вновь строящихся (реконструируемых) шахт – проложенным по разным вертикальным или наклонным выработкам. В качестве резервных трубопроводов могут быть использованы водоотливные трубопроводы. Подача воды на каждый рабочий горизонт, вскрываемый более чем одной выработкой, осуществляется по двум проложенным в разных выработках трубопроводам, которые должны быть закольцованы между собой на рабочем горизонте.

Одним из основных условий успешного использования воды для тушения рудничных пожаров является возможность ее обильного расходования. К месту пожара вода может подаваться одним из трех способов:

а) по шахтной водопроводной сети или по временно приспособленной для этой цели сети сжатого воздуха;

б) при помощи пожарного насоса дальнего действия;

в) путем доставки вагонетками и использования насоса ближнего действия.

Обилие воды для тушения огня и качество водяной струи (компактность струи или равномерность распыления, дальнобойность) во всех случаях зависят:

а) от емкости резервуара, из которого доставляется вода;

б) от пропускной способности водопроводной системы или мощности насоса;

в) от сопротивления системы выкидных рукавов и результирующего давления воды у спрыска ствола.

Достаточная емкость резервуара и пропускная способность водопроводной сети обеспечиваются согласно Правилам технической эксплуатации шахт и рудников самими предприятиями. Расчет шахтных водопроводных сетей производится обычно одновременно или в связи с расчетом рудничного водоотлива, методами, аналогичными расчету коммунальных водопроводных сетей. Особенностью проектирования шахтной водопроводной сети является необходимость учета высоких гидростатических давлений, возникающих на глубоких горизонтах, при подаче воды с верхних горизонтов. Обычно предусматривается снабжение подземных противопожарных водопроводов водой из резервуаров, размещенных на вышележащих горизонтах, но не выше 50-75 м над водопроводной сетью, учитывая, что стандартная противопожарная арматура рассчитывается на рабочее давление до 10 ат (100 м вод. ст.).

В угольной промышленности большинство крупных шахт оборудовано и продолжает оборудоваться подземными противопожарными водопроводами, общая протяженность которых достигает многих сотен километров.

Контроль за состоянием водоемов (поверхностных и подземных), а также водопроводной сети осуществляется в порядке профилактической работы работниками ВГСЧ. Правилами технической эксплуатации предусматривается, чтобы давление воды в водопроводе или приспособленной воздухопроводной сети в конечном пункте было не меньше 4 ат.

Сеть подземного пожарно-оросительного трубопровода состоит из двух магистральных и участковых линий. Магистральные линии прокладываются в вертикальных и наклонных стволах, скважинах, штольнях, околоствольных дворах, главных групповых откаточных штреках и квершлагах, уклонах и бремсбергах. Участковые линии прокладываются по наклонным стволам, уклонам, бремсбергам и ходкам при них (кроме наклонных выработок, по которым проложены магистральные трубопроводы), по откаточным (сборным), конвейерным, вентиляционным (бортовым) и ярусным (промежуточным) штрекам.

Параметры магистрального трубопровода, проложенного по стволу и выработкам околоствольного двора к квершлагу до точки разветвления трубопровода в главные выработки, по которым производится откатка угля с обоих крыльев шахты, рассчитываются по суммарному расходу воды, необходимой на устройство автоматической пожарной водяной завесы для преграждения распространения пожара, на непосредственное тушение пожара цельной струей из одного пожарного ствола с диаметром насадки 19 мм (расход воды на один ствол –  $0,0083 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) и на половину расчетного расхода воды на технологические нужды шахты.

Параметры магистрального трубопровода, проложенного по коренным и групповым откаточным штрекам, уклонам и бремсбергам, рассчитываются только по суммарному расходу воды, необходимому на устройство пожарной водяной завесы, и на непосредственное тушение пожара цельной струей из одного пожарного ствола (без учета расхода воды на технологические нужды). При этом общий расход воды на пожаротушение, независимо от расчета, должен быть не менее  $0,022 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Параметры участкового пожарного трубопровода рассчитываются только по расходу воды, необходимому на устройство пожарных водяных завес, причем этот расход должен быть не менее  $0,014 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Для выработок, оборудованных ленточными конвейерами, параметры пожарно-оросительного трубопровода рассчитываются по суммарному расходу воды на непосредственное тушение пожара цельной струей из одного пожарного ствола с диаметром насадки 19 мм и устройство пожарной водяной завесы (общий расход воды на пожаротушение должен быть не менее  $0,028 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ )).

Необходимый расход воды на устройство водяной завесы в горных выработках, закрепленных негорючей или трудногорючей крепью принимается равным  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ , закрепленных деревянной крепью – определяется с учетом поперечного сечения выработки и скорости вентиляционной струи.

Давление воды в магистральном трубопроводе, расположенном в вертикальном стволе, может достигать 12-15 МПа ( $120\text{-}150 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). В трубопроводе, проложенном по выработкам околоствольного двора, квершлагам, главным и групповым откаточным штрекам, уклонам и бремсбергам давление воды допускается до 3,0 МПа ( $30 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ) при условии его снижения (повышения) в местах отбора (установки пожарных кранов) до нормируемого давления воды на подземное пожаротушение  $0,6\text{-}1,5 \text{ МПа}$  ( $6\text{-}15 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ).

При глубинах разработки, приводящих к возникновению давлений свыше 1,5 МПа ( $15 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ), и отсутствии средств снижения давления в точках отбора воды, а при давлениях свыше 3,0 МПа ( $30 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ) в любом случае применяется схема подачи воды с однократным, двукратным и т.д. редуцированием давления. Редукционный узел состоит из двух параллельных ветвей, каждая из которых состоит из входной задвижки, гидравлического редуктора (чаще всего применяется редукционный клапан гидравлический двухступенчатый РКГД) и выходного запорного вентиля, что позволяет производить ремонт каждого редуктора без отключения трубопровода.

При необходимости повышения давления воды в восстающих выработках бремсберговой части шахтного поля следует предусматривать сооружение повысительных насосных станций.

По требуемому расходу определяют внутренние диаметры трубопроводов и расстояния между редукционными узлами или насосными станциями. Независимо от расчета на пропускную способность диаметры магистральных трубопроводов принимаются не менее 150 мм, а диаметры участковых трубопроводов и магистральных для шахт крутого падения (кроме вертикальных стволов) – не менее 100 мм.

Пожарно-оросительный трубопровод оборудуется пожарными кранами с однотипными пожарными гайками с условным диаметром не менее 70 мм (гайки Богданова).

Пожарные краны размещают: в выработках с ленточными конвейерами – через 50 м и дополнительно по обе стороны приводной станции конвейера на расстоянии 10 м от нее; на расстоянии 10 м по обе стороны камер с горючими материалами; у каждого ходка в склад взрывчатых материалов по обе стороны на расстоянии 10 м.

Рядом с пожарными кранами устанавливаются специальные ящики, в которых хранятся ствол со спрыском диаметром 19 мм и пожарный рукав длиной 20 м.

Пожарные краны устанавливают также у пересечений и ответвлений подземных выработок; в горизонтальных выработках, не имеющих пересечений и ответвлений – через

200 м; в наклонных выработках, не имеющих пересечений и ответвлений – через 100 м; в околоствольных дворах, где нет камер, – через 100 м; с каждой стороны ствола (в том числе слепого) у сопряжения его с околоствольным двором (на приемной площадке); у погрузочных пунктов лав со стороны свежей струи воздуха и на вентиляционном (бортовом) штреке (ходке) не далее 20 м от выхода из очистной выработки; в тупиковых выработках проектной длиной 500 и более метров – через 50 м, при меньшей длине – через 100 м, а также в устье и на конце трубопровода, у забоя.

Установка пожарных кранов на подающих трубопроводах в вертикальных стволах не допускается.

Концы участков пожарно-оросительных трубопроводов должны отстоять от забоев подготовительных и очистных выработок не более чем на 40 м, а пожарные краны в конце трубопровода и устье подготовительной выработки должны быть оснащены двумя рукавами длиной по 20 м и пожарным стволом.

На всех ответвлениях пожарно-оросительного трубопровода и через каждые 400 м устанавливаются задвижки типа «Лудло». Пожарно-оросительный трубопровод окрашивается для опознания в красный цвет или в виде полосы или колец по всей длине трубопровода.

Отключение отдельных участков пожарно-оросительного трубопровода осуществляется с письменного разрешения директора шахты, о чем ставится в известность горный диспетчер.

#### *1. Расчетный метод определения параметров тушения пожара сплошными струями*

*Данная методика используется при расчете параметров тушения пожарными стволами без подключения других потребителей к этому же трубопроводу и позволяет определить:*

- количество одновременно работающих стволов;
- площадь одновременного тушения;
- длину заходки одновременного тушения;
- скорость тушения;
- продолжительность тушения.

#### *Исходные данные для расчета*

$Q_1$  – фактический расход воды в ПОТ в месте забора воды, м<sup>3</sup>/ч.

$P_u$  – динамическое давление в ПОТ в месте забора воды, МПа (кг·с/см<sup>2</sup>).

$d$  – диаметр насадка пожарного ствола, мм.

$S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>.

$B_l$  – ширина конвейерной ленты, м.

#### **Порядок расчета**

1. По табл. 1. определяем расход воды пожарными стволами  $A_n$  и их количество  $n$  при нормативном давлении в пожарно-оросительном трубопроводе.

Суммарный расход воды через насадки стволов должен быть близким по значению фактическому расходу воды в трубопроводе в месте подключения.



Таблица 1

Расход воды пожарными стволами  $A_n$  и их количество  $n$  при нормативном давлении в пожарно-оросительном трубопроводе

Количество стволов $n$	Расход воды при диаметре насадка			
	19 мм		22 мм	
	$A_n$ , л/с	$A_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$A_n$ , л/с	$A_n$ , м <sup>3</sup> /ч
1	7,0	25,2	8,8	31,6
2	14,0	50,4	17,6	63,2
3	21,0	75,6	26,4	94,8

2. Определяем необходимую интенсивность подачи воды  $I_n$  на горящую поверхность и необходимую продолжительность подачи воды  $t_g$ .

В зависимости от площади сечения выработки  $S$  с деревянными элементами крепи эти значения определяются по табл. 2.

Таблица 2

Необходимая интенсивность подачи воды  $I_n$  на горящую поверхность и необходимая продолжительность подачи воды  $t_g$

$S$ , м <sup>2</sup>	$I_n$		$t_g$ , мин
	л/(м <sup>2</sup> ·с)	м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	
9,3	0,144	0,52	29
11,2	0,138	0,50	31
12,7	0,133	0,48	33
13,1	0,131	0,47	33

При тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью

$$I_n = 0,2 \text{ л/ (м}^2 \cdot \text{с)}; t_g = 25 \text{ мин}$$

При тушении конвейерной ленты в выработке с деревянными элементами крепи  $I_n$  и  $t_g$  определяются по табл. 8 п. 2 расчета.

3. Определяем площадь поверхности одновременного тушения (м<sup>2</sup>):

$$S_T = \frac{n \cdot A_n}{I_n} \quad (1)$$

где  $n$  – количество одновременно работающих стволов;

$A_n$  – расход воды одним стволом, л/с или м<sup>3</sup>/ч;

$I_n$  – интенсивность подачи воды на горящую поверхность, л/(м<sup>2</sup>·с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

4. Определяем длину заходки одновременного тушения  $\Delta L_T$  (протяженность участка выработки, на котором производится одновременное тушение горячей поверхности) (м).

При тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью:

$$\Delta L_T = \frac{n \cdot A_n}{2 \cdot I_n \cdot B_1} \quad (2)$$

где  $n$  – количество одновременно работающих стволов;

$A_n$  – расход воды одним стволом, л/с или м<sup>3</sup>/ч;

$I_n$  – интенсивность подачи воды на горящую поверхность, л/(м<sup>2</sup>·с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$B_l$  – ширина конвейерной ленты, м.

*При тушении выработки с деревянными элементами крепи:*

$$\Delta L_T = \frac{n \cdot A_n}{I_n \cdot P_3 \cdot B_l} \quad (3)$$

где  $P_3$  – периметр затягиваемой деревом поверхности, м (определяется из технической документации на проведение выработки или из расчета параметров развития пожара, ПРЗ).

$n$  – количество одновременно работающих стволов.

$A_n$  – расход воды одним стволом, л/с или м<sup>3</sup>/ч;

$I_n$  – интенсивность подачи воды на горящую поверхность, л/(м<sup>2</sup>·с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$B_l$  – ширина конвейерной ленты, м (исходные данные).

Если значение величины  $\Delta L_T$  превышает значение длины активной части струи при нормативном давлении (равное 12 м), то к расчету принимается  $\Delta L_T = 12$  м.

5. Определяем скорость тушения пожара сплошными водяными струями.

*При тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью:*

$$V_T = \frac{n \cdot A_n}{2 \cdot I_n \cdot B_l \cdot t_e} \quad (4)$$

где  $n$  – количество одновременно работающих стволов;

$A_n$  – расход воды одним стволом, л/с или м<sup>3</sup>/ч;

$I_n$  – интенсивность подачи воды на горящую поверхность, л/(м<sup>2</sup>·с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$B_l$  – ширина конвейерной ленты, м;

$t_e$  – необходимая продолжительность подачи воды, мин.

*При тушении выработки с деревянными элементами крепи:*

$$V_T = \frac{n \cdot A_n}{I_n \cdot P_3 \cdot t_e} \quad (5)$$

где  $P_3$  – периметр затягиваемой деревом поверхности, м (определяется из технической документации на проведение выработки или из расчета параметров развития пожара, ПРЗ);

$n$  – количество одновременно работающих стволов;

$A_n$  – расход воды одним стволом, л/с или м<sup>3</sup>/ч;

$I_n$  – интенсивность подачи воды на горящую поверхность, л/(м<sup>2</sup>·с) или м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с);

$t_e$  – необходимая продолжительность подачи воды, мин.

6. Продолжительность тушения пожара для одной заходки принимается равной нормативному времени подачи воды на горящую поверхность  $t_e$  (п. 2 расчета), а при тушении всей горячей поверхности равна сумме времени, затраченного на все заходки:

$$T_T = \frac{S_T}{S_T} \cdot t_e \quad (6)$$

где  $S_T$  – площадь поверхности одновременного тушения, м<sup>2</sup>;

$S_T$  – площадь всей горящей поверхности, м<sup>2</sup> (п. 10 расчета параметров развития пожара);

$t_e$  – нормативное время подачи воды на горящую поверхность, мин.

**Пример.** Рассчитать параметры тушения пожара в конвейерном уклоне сплошными водяными струями для следующих условий:  $Q_I = 105$  м<sup>3</sup>/ч;  $P_u = 0,7$  МПа (7 кг·с/см<sup>2</sup>);  $n = 2$ ;  $d_c = 19$  мм;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $V_e = 2$  м/с;  $\tau = 60$  мин. Выработка оборудована резиноватросовой лентой шириной  $B_I = 1$  м и закреплена негорючей крепью.

*Решение*

1. По табл. 2 определяем расход воды пожарными стволами  $A_n$  и их количество  $n$  при нормативном давлении в пожарно-оросительном трубопроводе:  $n = 2$ ;  $A_n = 14$  л/с (50,4 м<sup>3</sup>/ч). Таким образом, суммарный расход воды через насадки стволов не превышает значение величины фактического расхода воды в трубопроводе в месте подключения (50,4 м<sup>3</sup>/ч < 105 м<sup>3</sup>/ч).

2. Необходимая интенсивность подачи воды  $I_n$  на горящую поверхность и необходимую продолжительность подачи воды при тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью:  $I_n = 0,2$  л/(м<sup>2</sup>·с);  $t_e = 25$  мин.

3. Определяем площадь поверхности одновременного тушения (ф. 1):

$$S_T = \frac{n \cdot A_n}{I_n} = \frac{2 \cdot 14}{0,2} = 140 \text{ м}^2$$

4. Определяем длину заходки одновременного тушения  $\Delta L_T$  при тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью (ф. 2):

$$\Delta L_T = \frac{n \cdot A_n}{2 \cdot I_n \cdot B_I} = \frac{2 \cdot 14}{2 \cdot 0,2 \cdot 1} = 70 \text{ м}$$

Т.к. значение величины  $\Delta L_T = 70$  м превышает значение длины активной части струи при нормативном давлении (равное 12 м), то к расчету принимается  $\Delta L_T = 12$  м.

5. Определяем скорость тушения пожара сплошными водяными струями при тушении конвейерной ленты в выработке с негорючей крепью (ф. 4):

$$V_T = \frac{n \cdot A_n}{2 \cdot I_n \cdot B_I \cdot t_e} = \frac{2 \cdot 14}{2 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 25} = 2,8 \text{ м/мин}$$

6. Определяем предельную скорость распространения пожара по выработке с 2 ветвями конвейерной ленты (ПРЗ.2, п. 3):

$$V_{np} = \frac{60 \cdot V_e \cdot S}{q_o} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 9}{2 \cdot 200} = 2,7 \text{ м/мин}$$

Тогда за  $\tau = 60$  мин пожаром будет пройдено:

$$L_n = V_{np} \cdot \tau = 2,7 \cdot 60 = 162 \text{ м}$$

Таким образом, при ширине конвейерной ленты 1 м, площадь горящей поверхности 2 ветвей конвейерной ленты составит 162 м<sup>2</sup>.

7. Продолжительность тушения пожара при тушении всей горячей поверхности (ф. 6):

$$T_T = \frac{S_r}{S_T} \cdot t_g = \frac{162}{140} \cdot 25 = 29 \text{ мин}$$

## 2. Расчет рукавных линий для работы пожарных стволов

Пожарно-оросительную сеть от поверхности шахты до точек подключения рукавной линии рассчитывают по известным гидравлическими характеристиками трубопровода и включенной в эту сеть арматуры. Необходимо провести в точке подключения рукавной линии по два измерения: статического напора  $H_o$  и напора при расходе воды (открытом запорном устройстве)  $H_3$ . В шахте это осуществляется с помощью специального ствола СМ, который укомплектован двумя насадками  $d = 22$  мм и  $d = 28$  мм (прил. 2).

Данная методика позволяет определить допустимую длину рукавной линии и напор перед пожарным стволом при трех различных схемах монтажа.

### Исходные данные для расчета

- $S$  – сопротивление пожарного ствола, м (с/л)<sup>2</sup>;
- $H_o$  – статический напор в месте подсоединения рукава, м;
- $H_3$  – напор при расходе в месте подсоединения рукава, м;
- $H_c$  – напор перед пожарным стволом, м.
- $R$  – сопротивление измерительного ствола СМ;
- $\alpha$  – угол наклона рукавной линии, град;
- $i$  – номер пожарного ствола или ветви в рукавной линии;
- $L$  – допустимая длина рукавной линии.

### **Порядок расчета**

*Внимание: в расчетных формулах будут использованы величины напора в соответствующих единицах измерения. Следует помнить, что величины напора  $H$  и величины давления  $P$  соотносятся между собой следующим образом:*

$$H = 10 \text{ м} \rightarrow P = 0,1 \text{ МПа} \rightarrow 1 \text{ атм}$$

Величины сопротивления пожарных стволов  $S$  и напора перед пожарным стволом  $H_c$ , обеспечивающие нормативную длину струи 12 м при диаметре насадка ствола  $d_{cm}$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величины сопротивления пожарных стволов, с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>

Диаметр насадка $d_{cm}$ , мм	16	19	22
Сопротивление пожарного ствола $S$ , с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup>	$1,26 \cdot 10^6$	$6,68 \cdot 10^5$	$3,66 \cdot 10^5$
Напор перед пожарным стволом $H_c$ , м	38,0	32,0	28,0

Таблица 4

Величина удельного сопротивления пожарных рукавов  $A$ , с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>

$d_{рук}$ , мм	50	66	77

Тип рукава			
льняные	$1,2 \cdot 10^4$	$3,85 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
прорезиненные	$6,77 \cdot 10^3$	$1,72 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^2$

### Схемы подсоединения рукавных линий и расчетные формулы

*Схема №1.* По схеме №1 прокладывается одинарная рукавная линия для работы одного пожарного ствола (рис. 1а).

Расчет допустимой длины рукавной линии (м):

$$L_1 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_0}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right)}{A \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} \quad (7)$$

где  $S$  – сопротивление пожарного ствола, м (с/л)<sup>2</sup>;

$H_0$  – статический напор в месте подсоединения рукава, м;

$H_3$  – напор при расходе в месте подсоединения рукава, м;

$H_c$  – напор перед пожарным стволом, м.

$R$  – сопротивление измерительного ствола СМ: для насадки  $d = 22$  мм  $R = 4,06 \cdot 10^5$  с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>, для насадки  $d = 28$  мм  $R = 1,55 \cdot 10^5$  с<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>;

$\alpha$  – угол наклона рукавной линии, град (знак «+» перед  $\sin \alpha$  берется при прокладке рукавной линии вверх, знак «-» – при прокладке вниз);

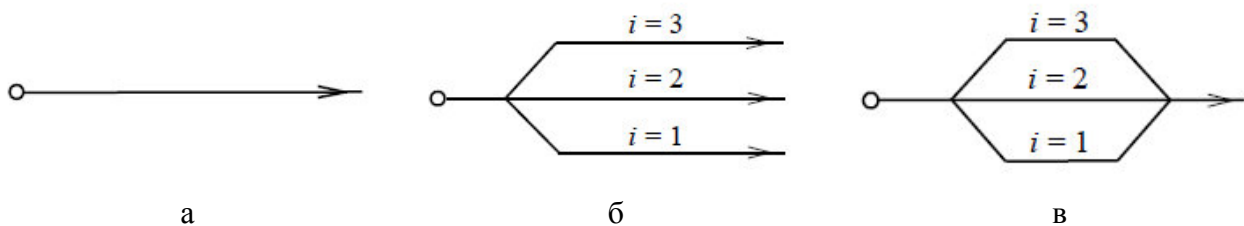


Рис. 1. Схемы подсоединения рукавных линии

Расчет напора перед насадком ствола (м):

$$H_c = \frac{H_0 \pm L \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{A \cdot L}{S} + \frac{R}{S} \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right)} \quad (8)$$

*Схема №2.* По схеме №2 предусматривается параллельная прокладка до 3-х рукавных линий и соответствующая работа, пожарных стволов на каждой линии (рис. 1б). При этом участок рукавной линии от места подсоединения к пожарной оросительной сети шахты до тройникового разветвления типа РТ должен быть не более 20 м.

Расчет допустимой длины рукавной линии (м):

$$L_2 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_0}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right) \cdot S \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)^2}{A \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} \quad (9)$$

где  $i$  – номер пожарного ствола или ветви в рукавной линии;

Расчет напора перед насадком ствола (м):

$$H_c = \frac{H_0 \pm L \cdot \sin \alpha}{1 - \frac{A \cdot L}{S} + R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)^2} \quad (10)$$

*Схема №3.* Схема №3 применяется в том случае, когда требуется работа одного ствола на значительном удалении от точки подключения к пожарно-оросительной сети шахты (рис. 1в).

Расчет допустимой длины рукавной линии (м):

$$L_3 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_o}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_o}{H_3} - 1 \right)}{\frac{A}{\left( 1 + \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{A}{A_i}} \right)^2} \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} \quad (11)$$

Расчет напора перед насадком ствола (м):

$$H_c = \frac{H_o \pm L \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{A \cdot L}{S \cdot \left( 1 + \sum_{i=2}^n \sqrt{\frac{A}{A_i}} \right)^2} + \frac{R}{S} \cdot \left( \frac{H_o}{H_3} - 1 \right)} \quad (12)$$

Таблица 5

Основные параметры напорных рукавов

Наименование показателей	Типы рукавов		
	прорезиненные	льноджутовые (льняные) усиленные (с двумя просновками)	льноджутовые (льняные) нормальные (с одной просновкой)
Внутренний диаметр, мм	51; 66; 77	51; 66; 77	51; 66; 77
Рабочее давление, МПа (м)	1,6 (160)	1,5 (150)	1 (100)
Испытательное давление, МПа (м)	2 (200)	2 (200)	1,5 (150)

**Пример 1.** Проложить рукавную линию вверх по наклонной выработке с углом наклона  $15^\circ$ . Измеренные параметры в месте подключения равны:  $H_o = 150$  м;  $H_3 = 100$  м.

Измерение проведено стволом специальным СМ с диаметром насадка 22 мм. В наличии имеются рукава обычные прорезиненные  $d_{рук} = 66$  мм и пожарный ствол  $d_{см} = 19$  мм.

**Решение.** Так как измерения сделаны стволом СМ с  $d = 22$  мм, то  $R = 4,06 \cdot 10^5 \text{ с}^2/\text{м}^5$ . Из табл. 3-4 находим  $S = 6,68 \cdot 10^5 \text{ с}^2/\text{м}^5$ ,  $A = 1,72 \cdot 10^3 \text{ с}^2/\text{м}^6$  и  $H_c = 32$  м;  $\sin 15^\circ = 0,259$ . Тогда, подставляя исходные данные в ф. 7, получим:8)

$$L_1 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_0}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right)}{A \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} = \frac{6,68 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{32} - 1 \right) - 4,06 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{100} - 1 \right)}{1,72 \cdot 10^3 + \frac{0,259}{32} \cdot 6,68 \cdot 10^5} = 317 \text{ м}$$

Таким образом, в данных условиях при последовательном подключении можно прокладывать рукавную линию на расстояние не более 317 м. При увеличении расстояния напор перед насадком будет меньше 32 м и длина прямолинейной части водяной струи также будет меньше 12 м.

**Пример 2.** В условиях примера 1 необходимо проложить две параллельные рукавные линии и подключить второй пожарный ствол  $d_{см2} = 22$  мм. Необходимость такой схемы диктует требуемая скорость тушения пожара или сечение выработки и скорость движения вентиляционной струи.

Решение. Из табл. 3 находим  $S_2 = 3,66 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{м}^5$ . Тогда по ф. 8 находим:

$$L_2 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_0}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right) \cdot S \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)^2}{A \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} =$$

$$= \frac{6,68 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{32} - 1 \right) - 4,06 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{100} - 1 \right) \cdot 6,68 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{6,68 \cdot 10^5}} + \frac{1}{\sqrt{3,66 \cdot 10^5}} \right)^2}{1,72 \cdot 10^3 + \frac{0,259}{32} \cdot 6,68 \cdot 10^5} = 189 \text{ м}$$

Таким образом, при параллельной прокладке двух ветвей рукавной линии, каждая из которых заканчивается пожарным стволом, допустимая длина их должна быть не более 189 м.

Сравнивая примеры 1 и 2, видим, что потери в рукавной линии увеличиваются при прокладке параллельных ветвей и, следовательно, допустимая длина уменьшается.

**Пример 3.** В условиях примера 1 требуется проложить линию на расстояние свыше 317 м. В наличии имеются, помимо прорезиненных рукавов  $d_{рук} = 66$  мм, рукава  $d_{рук} = 77$  мм. Подключают обе ветви на один пожарный ствол  $d_{см} = 19$  мм.

**Решение.** Из табл. 4 находим  $A_2 = 7,7 \cdot 10^2 \text{ с}^2/\text{м}^6$ . Тогда по ф. 11 получим:

$$L_3 = \frac{S \cdot \left( \frac{H_0}{H_c} - 1 \right) - R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right) H_0}{\left( 1 + \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{A}{A_i}} \right)^2 \pm \frac{\sin \alpha}{H_c} \cdot S} = \frac{6,68 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{32} - 1 \right) - 4,06 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{100} - 1 \right)}{\left( 1 + \sqrt{\frac{1,72 \cdot 10^3}{7,7 \cdot 10^2}} \right)^2 + \frac{0,259}{32} \cdot 6,68 \cdot 10^5} = 398 \text{ м}$$

Таким образом, при параллельной прокладке двух ветвей, соединенных на одном пожарном стволе, сопротивление рукавной линии уменьшается и допустимая длина ее увеличивается.

В практике ведения спасательных работ часто необходимо определить по заданной длине линии напор воды перед пожарным стволом. Так, например, в случае прокладки рукавной линии вниз по выработке с большим углом наклона необходимо рассчитывать напор перед пожарным стволом, чтобы избежать порыва рукавной линии.

**Пример 4.** Необходимо продолжить одну ветвь рукавной линии в горной выработке с углом наклона  $15^\circ$  вверх от точки присоединения рукавной линии на расстояние 400 м. В точке подключения линии измерения напора произведены стволом СМ с насадком  $d = 22$  мм. Получены следующие результаты:  $H_0 = 150$  м;  $H_3 = 100$  м.

В наличии есть рукава прорезиненные обычные с  $d_{рук} = 66$  мм и ствол пожарный  $d_{см} = 19$  мм.

**Решение.** Из таблиц 3-4 находим:  $A = 1,72 \cdot 10^3 \text{ с}^2/\text{м}^6$ ;  $S = 6,68 \cdot 10^5 \text{ с}^2/\text{м}^5$ ;  $R = 4,06 \cdot 10^5 \text{ с}^2/\text{м}^5$ . Тогда по ф. 8 получаем:

$$H_c = \frac{H_0 \pm L \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{A \cdot L}{S} + \frac{R}{S} \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right)} = \frac{150 + 400 \cdot 0,259}{1 + \frac{1,72 \cdot 10^3 \cdot 400}{6,68 \cdot 10^5} + \frac{4,06 \cdot 10^5}{6,68 \cdot 10^5} \cdot \left( \frac{150}{100} - 1 \right)} = 108,7 \text{ м}$$

**Пример 5.** В условиях примера 4 необходимо проложить две параллельные рукавные линии и ко второй ветке подключить пожарный ствол  $d_{см} = 22$  мм.

**Решение.** Из табл. 3 находим  $S = 3,66 \cdot 10^5 \text{ с}^2/\text{м}^5$ . По ф. 10 получим:

$$H_c = \frac{H_0 \pm L \cdot \sin \alpha}{1 - \frac{A_1 \cdot L_1}{S_1} + R \cdot \left( \frac{H_0}{H_3} - 1 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{S_i}} \right)^2} = \frac{150 + 400 \cdot 0,259}{1 - \frac{1,72 \cdot 10^3 \cdot 400}{6,68 \cdot 10^5} + 4,06 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{150}{100} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{6,68 \cdot 10^5}} + \frac{1}{\sqrt{3,66 \cdot 10^5}} \right)^2} = 68,4 \text{ м}$$

**Пример 6.** В условиях примера 4 необходимо проложить две параллельные рукавные линии, соединенные на одном пожарном стволе  $d_{см} = 19$  мм. Для прокладки второй ветви имеются рукава прорезиненные  $d_{рук} = 77$  мм.

**Решение.** Из табл. 4 находим  $A_2 = 7,7 \cdot 10^2 \text{ с}^2/\text{м}^5$ . По ф. 12 получаем:



$$H_c = \frac{H_o \pm L \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{A \cdot L}{S \cdot \left(1 + \sum_{i=2}^n \sqrt{\frac{A}{A_i}}\right)^2} + \frac{R}{S} \cdot \left(\frac{H_o}{H_3} - 1\right)} =$$

$$= \frac{150 + 400 \cdot 0,259}{1 + \frac{1,72 \cdot 10^3 \cdot 400}{6,68 \cdot 10^5 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{1,72 \cdot 10^3}{7,7 \cdot 10^2}}\right)^2} + \frac{4,06 \cdot 10^5}{6,68 \cdot 10^5} \cdot \left(\frac{150}{100} - 1\right)} = 172 \text{ м}$$

В данном случае в конце рукавной линии будет недопустимый напор – 172 м (1,72 МПа) при рабочем давлении 1,6 МПа (табл. 5) – и пожарные рукава могут порваться. Поэтому необходимо перейти к схеме 1 или 2.

### Практическая работа №5

#### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ПОЖАРА РАСПЫЛЕННЫМИ СТРУЯМИ (ВОДЯНАЯ ЗАВЕСА)

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров тушения пожаров распыленными водяными струями

Водяные завесы – плотная зона из водяных капель, создаваемая распылением воды форсунками или специальными водоразбрызгивателями в горной выработке на пути распространения пожара или пламени взрыва метана и угольной пыли для подавления очагов горения или для охлаждения исходящей из пожарной зоны вентиляционной струи.

На эксплуатационные характеристики водяной завесы оказывают существенное влияние большое количество различных параметров: размеры капель (средний размер и функция распределения по размерам), их начальные скорости (средняя скорость и функция распределения по скоростям), отклонение формы капель от сферической, начальная угловая диаграмма направленности потока капель, начальное пространственное распределение этого потока. К этому следует добавить возникающие при вязком взаимодействии с каплями воздушные потоки, а также воздушные потоки, существующие независимо от капель. Они имеют весьма сложное пространственное распределение и оказывают на формирование водяной завесы сильное влияние, особенно в ее периферийной части, где скорости капель вследствие их торможения в воздушной среде уже достаточно малы. Если добавить к этому турбулентность, которая в некоторых случаях также имеет место, то сложность процессов формирования водяных завес становится еще более очевидной.

Форма и размеры водяной завесы определяются суммой траекторий отдельных капель, из которых она состоит. В свою очередь, траектория каждой капли зависит от ее размера, от направления и величины ее начальной скорости, от движения воздушных масс. Поскольку движение воздуха также зависит от движения капель, то следует говорить о едином процессе движения двухфазного воздушно-капельного потока, в котором каждая фаза имеет свое распределение скоростей в пространстве. Концентрация капель имеет

сложный закон распределения в пространстве и зависит как от траекторий капель, так и от пространственного поля их скоростей, а также от общего массового потока.

При создании водяных завес основным механизмом формирования капель является дробление сплошного потока воды в распылительном устройстве и последующие процессы дробления и коагуляции капель.

Основными методами, которые применяются для создания струй распыленной воды в защитных системах, являются гидравлическое, механическое и пневматическое распыления.

Наиболее распространенным из названных является метод гидравлического распыления. Этот метод является наиболее простым по технической реализации и наиболее экономичным по затратам энергии. При прохождении через распылитель поток жидкости приобретает высокую скорость и преобразуется к форме (тонкая струя или пленка), которая содействует распаду сплошной струи на отдельные капли.

Начальный средний размер капель распыленной струи зависит от:

- метода распыления;
- размера и формы выходного отверстия;
- скорости истечения жидкости (давления перед отверстием);
- физических свойств жидкости (поверхностное натяжение, плотность, вязкость).

При срабатывании оросителя струя воды из сопла под давлением направляется на поперечно расположенную пластину дефлектора (розетку) и после удара изменяет направление движения, формируя тонкую пленку воды с радиальным направлением движения от центра розетки. В основу модели положено предположение о том, что распад сплошной струи на капли происходит в 3 стадии (рис. 1):

- формирование плоской водяной пленки;
- образование волн и распад пленки на дугообразные сегменты;
- распад сегментов на капли.



Рис. 1. Схема распада струи в спринклерном оросителе.

Форма капли определяется балансом капиллярных и инерционных сил. Капиллярные силы стремятся сохранить сферическую форму капли. Наоборот, действие инерционных сил приводит к отклонению формы капель от сферической. Процесс разрушения капель является

сложным, и его ход определяется соотношением сил поверхностного натяжения, вязкости, инерции и их динамикой во времени.

При подаче распыленной струи с целью теплового экранирования изначально холодные капли воды попадают в зону повышенной температуры воздуха. Это приводит к их нагреву за счет конвективного теплообмена, а также к частичному или полному испарению. При этом снижается температура воздуха и увеличивается его влажность. Испарение капель влияет на динамические свойства распыленной струи, изменяя форму траектории и дальность полета капель.

### **1. Расчет параметров водяной завесы, создаваемой водоразбрызгивателем ВВР-1**

Данная методика позволяет определить:

количество оросителей (насадок) в одном эшелоне  $n$ ;

количество эшелонов в выработке  $N$  (расстояние между эшелонами 3-5 м);

температуру продуктов горения после прохождения водяной завесы  $T$ ;

предельно допустимую длину рукавной линии для подключения ВВР;

динамическое давление в конце рукавной линии;

фактический расход воды в конце рукавной линии;

необходимый начальный напор в месте подключения рукавной линии определенной длины для подключения ВВР-1 с нормативными характеристиками.

#### Исходные данные для расчета

$Q$  – расход воды в ПОТ в месте установки водяной завесы, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_n$  – нормативный расход воды при устройстве водяной завесы, м<sup>3</sup>/ч.

$S$  – площадь сечения выработки в месте установки завесы, м<sup>3</sup>;

$V_a$  – скорость движения воздуха в месте установки водяной завесы, м/с;

$d_{op}$  – диаметр проходного отверстия оросителя, мм (для водоразбрызгивателя ВВР-1, УЛПП-2  $d_{op} = 16$  мм);

$P_u$  – динамическое давление в ПОТ в месте подключения рукавной линии, МПа.

$L$  – длина проложенной рукавной линии, м.

$d_p$  – диаметр пожарных рукавов, мм,  $d_p = 66$  мм.

#### **Порядок расчета**

Определение параметров водяной завес ( $n$ ,  $N$ ,  $T$ ) производится по табл. 1, в которой приведен расчет параметров водяной завесы для горных выработок с площадью поперечного сечения до 15 м<sup>2</sup>. При больших площадях сечения разбрызганная вода также должна полностью перекрывать всю площадь сечения выработки. Если расчетное количество оросителей не обеспечивает этого, то их количество необходимо увеличить до получения положительных результатов. Водяные завесы целесообразно размещать в выработках в местах, где отсутствуют купола и пустоты за креплением.

Скорость движения воздуха в месте установки водяной завесы предоставлена в пределах от 0,5 до 6 м/с. При скоростях движения воздуха менее 0,5 м/с параметры завесы будут определены с запасом, то есть эффективность завесы будет больше. Если скорость движения воздуха более 6 м/с, необходимо принять меры по ее снижению, иначе завеса будет неэффективной.

Нормативный расход воды при устройстве водяной завесы в горной выработке указан в прил. 1.

При разработке табл. 1 приняты следующие допущения:

- температура газообразных продуктов горения на входе в водяную завесу  $1000^{\circ}\text{C}$ ;
- давление воды в трубопроводе при расходе – не ниже  $0,6\text{ МПа}$  ( $6\text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ );
- температура газов за водяной завесой не должна превышать  $500^{\circ}\text{C}$ .

Практически температура газов в шахте при входе в водяную завесу не превышает  $800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ . Если она будет ниже указанных значений, то параметры завесы будут выбраны с запасом. Аналогичное положение будет иметь место при увеличении давления воды в пожарно-оросительном трубопроводе свыше  $0,6\text{ МПа}$  ( $6\text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ).

Если при выборе параметров водяной завесы окажется, что расчетная температура газов за завесой превысит значение  $500^{\circ}\text{C}$ , то в таких случаях эффективность применения завесы будет низкой. Для ее повышения необходимо увеличить расход воды в пожарно-оросительном трубопроводе или уменьшить скорость движения воздуха в аварийной выработке. Увеличивать количество оросителей в таких случаях недопустимо, так как это приведет к падению давления воды перед оросителями водоразбрызгивателей.

Таблица 1

## Параметры водяных завес

S, м <sup>2</sup>	Скорость воздушного потока, м/с															Q М <sup>3</sup> /ч (М <sup>3</sup> /с)
	0,5			1,0			2,0			3,0			4,0			
	Параметры водяных завес															
	n	N	T	n	N	T	n	N	T	n	N	T	n	N	T	
8,0	1	2	26 0	1	2	21 0	1	2	28 0	1	2	34 0	1	2	39 0	$\frac{30}{8,33 \cdot 10^{-3}}$
10, 0	1	2	29 0	1	2	23 0	1	2	31 0	1	2	37 0	2	1	62 0	
12, 0	1	2	32 0	1	2	25 0	1	2	34 0	1	2	40 0	2	1	65 0	
15, 0	1	2	36 0	1	2	29 0	1	2	37 0	2	1	63 0	2	1	68 0	
8,0	1	2	22 0	1	2	18 0	1	2	24 0	1	3	18 0	1	3	22 0	$\frac{40}{1,11 \cdot 10^{-2}}$
10, 0	1	2	25 0	1	2	20 0	1	3	16 0	1	3	21 0	2	1	57 0	
12, 0	1	3	17 0	1	2	20 0	1	3	18 0	1	3	24 0	2	1	60 0	
15, 0	1	3	20 0	1	2	25 0	1	3	21 0	2	1	59 0	2	1	64 0	
8,0	1	2	19 0	1	2	16 0	1	2	21 0	1	3	16 0	1	3	20 0	$\frac{50}{1,38 \cdot 10^{-2}}$
10, 0	1	2	22 0	1	2	18 0	1	2	24 0	1	3	18 0	2	2	34 0	
12, 0	1	2	24 0	1	2	20 0	1	3	16 0	1	3	21 0	2	2	37 0	
15, 0	1	3	17 0	1	2	22 0	1	3	18 0	2	2	36 0	2	2	41 0	
8,0	1	2	17 0	1	1	24 0	1	2	19 0	1	2	24 0	1	3	17 0	$\frac{60}{1,67 \cdot 10^{-2}}$
10, 0	1	2	19 0	1	2	16 0	1	2	22 0	1	3	16 0	2	2	31 0	
12, 0	1	2	22 0	1	2	18 0	1	2	24 0	1	3	18 0	2	2	34 0	
15, 0	1	2	25 0	1	2	20 0	1	3	16 0	2	2	33 0	2	2	38 0	
8,0	1	2	15 0	1	1	22 0	1	2	18 0	1	2	22 0	1	3	22 0	$\frac{70}{1,94 \cdot 10^{-2}}$
10, 0	1	2	17 0	1	2	15 0	1	2	20 0	1	2	25 0	2	3	25 0	
12, 0	1	2	20 0	1	2	17 0	1	2	22 0	1	3	16 0	2	3	40 0	
15, 0	1	2	23 0	1	2	18 0	1	2	25 0	2	3	19 0	2	3	44 0	
8,0	1	2	14 0	1	1	20 0	1	2	17 0	1	2	21 0	1	2	24 0	$\frac{80}{2,22 \cdot 10^{-2}}$

10, 0	1	2	16 0	1	1	23 0	1	2	19 0	1	2	23 0	2	3	17 0	-2
12, 0	1	2	18 0	1	2	15 0	1	2	21 0	1	3	15 0	2	3	19 0	
15, 0	1	2	21 0	1	2	17 0	1	2	23 0	2	3	17 0	2	3	22 0	

Определение элементов гидравлики пожарных рукавов при подключении к ним водоразбрызгивателя ВВР-1 производится с помощью табл. 2.

**Пример.** Рассчитать параметры водяной завесы, устраиваемой в аварийном конвейерном уклоне, и определить потерю давления воды на конце рукавной линии при ее устройстве для следующих условий:  $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $V_e = 2 \text{ м/с}$ ;  $d_{op} = 16 \text{ мм}$ ;  $P_u = 0,9 \text{ МПа}$ ;  $L = 200 \text{ м}$ . Конвейерный уклон закреплен трудногорючей крепью.

**Решение.** Нормативный расход воды в выработках, закрепленных трудногорючей крепью, должен составлять  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$  (прил. 1), т.е. фактический расход воды в ПОТ в месте установки водяной завесы  $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$  не ниже нормативного;

По табл. 1 находим для условий решаемой задачи следующие значения параметров водяной завесы (принято для  $Q = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $S = 10 \text{ м}^2$ ;  $V_e = 2 \text{ м/с}$ ):  $n = 1$ ;  $N = 2$ ;  $T = 220^\circ\text{C}$ .

Водяную завесу с такими параметрами можно создать с помощью установки УЛПП-2, расположив по одному оросителю на крайних ее штуцерах, или с помощью двух водоразбрызгивателей ВВР-1, установленных на расстоянии 3-5 м друг от друга с одним оросителем в каждом. Второе выходное отверстие в оросителях должно быть заглушено.

Окончательное решение о количестве водоразбрызгивателей в водяной завесе принимается командным пунктом с учетом выполненного расчета и обеспечения необходимых давления и расхода воды для применения средств активного тушения пожара со стороны свежей струи.

По табл. 2 при динамическом давлении в ПОТ в месте подключения рукавной линии  $P_u = 0,9 \text{ МПа}$  и длине проложенной рукавной линии диаметром 66 мм  $L = 200 \text{ м}$  фактический расход воды в конце рукавной линии составит  $Q' = 36,8 \text{ м}^3/\text{час}$ , динамическое давление  $P_u' = 0,5 \text{ МПа}$ .

Таблица 2

Потеря давления воды на конце рукавной линии в зависимости от ее длины

$P_u$ , МПа	Длина рукавной линии, м														
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	1000	1200	1400
	Фактический расход и динамическое давление в конце рукавной линии, ( $\text{м}^3/\text{час}$ ) МПа														
0,4	27,7	26,0	24,6	23,5	22,4	21,5	20,5	19,9	19,3						
	0,3	0,26	0,23	0,21	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14						
0,45	29,3	27,6	26,5	24,8	23,8	22,7	21,8	21,2	20,4	19,3					
	0,345	0,295	0,26	0,23	0,22	0,2	0,18	0,17	0,16	0,14					
0,5	31,0	29,3	27,5	26,2	25,2	23,9	23,2	22,4	21,6	20,5	19,3				
	0,39	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22	0,2	0,19	0,18	0,16	0,14				
0,55	32,1	30,6	26,8	28,0	26,3	25,0	24,3	23,4	22,6	21,4	20,2	19,3			
	0,41	0,36	0,31	0,29	0,26	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14			
0,6	33,3	31,8	30,2	29,8	27,5	26,4	25,4	24,4	23,7	22,4	21,2	20,2	18,5		

	0,43	0,39	0,33	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13		
0,65	34,9	33,2	31,4	30,4	28,6	27,5	26,4	25,4	24,7	23,2	22,0	20,5	19,3		
	0,435	0,42	0,37	0,35	0,32	0,3	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17	0,14		
0,7	36,8	34,7	32,6	31,0	29,8	28,7	27,5	26,5	25,7	24,0	22,9	21,8	20,2	18,6	
	0,5	0,45	0,4	0,37	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,26	0,2	0,18	0,15	0,13	
0,8	38,8	36,8	34,8	33,2	31,8	30,5	29,3	28,4	27,4	25,1	24,4	23,4	20,4	19,7	18,6
	0,58	0,5	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,26	0,23	0,21	0,18	0,15	0,13
0,9	41,5	28,8	36,8	35,3	33,6	32,5	31,1	28,9	27,5	27,5	25,9	24,6	22,6	21,1	19,8
	0,66	0,58	0,5	0,46	0,43	0,4	0,37	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	0,2	0,18	0,15
1	43,2	41,2	39,3	37,0	35,5	33,6	32,4	31,2	30,5	28,8	27,2	25,8	23,9	22,3	20,8
	0,72	0,65	0,58	0,5	0,46	0,43	0,4	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17

**Примечание:** в таблице приведены данные для прорезиненных рукавов диаметром 66 мм, данные для льняных рукавов и для рукавов большего диаметра приведены в «Инструкции по эксплуатации ВВР-1».

## **2. Расчет параметров тушения и локализации подземного пожара на приводной части ленточного конвейера с помощью автоматических систем водяного пожаротушения (АСВП)**

Анализ пожаров, происшедших в шахтах на ленточных конвейерах, показывает, что загорание конвейерных лент практически происходит по двум причинам:

на приводных станциях ленточных конвейеров большинство пожаров возникает в результате трения (пробуксовки) ленты о приводной барабан;

на линейной части ленточных конвейеров большинство пожаров возникает в результате чрезмерного нагревания заштыбованного опорного ролика на линейной конструкции конвейера.

Создание условий пожаробезопасной эксплуатации ленточных конвейеров осуществляется в двух направлениях: пассивная и активная защита.

К пассивной защите относят использование трудногораемых (трудногорючих), неподдерживающих горение конвейерных лент и материалов для футеровки приводных барабанов. Однако учитывая тот факт, что конвейером транспортируется горючее полезное ископаемое, при длительной пробуксовке приводных барабанов и трении их о ленту может возникнуть загорание угольной пыли, а затем самой ленты. С целью предотвращения загорания из-за пробуксовки каждый ленточный конвейер оборудуется датчиком скорости, который отключает привод при снижении скорости ленты на 25 %. Таким образом, контроль за скоростью следует также отнести к пассивной защите.

Под активной защитой ленточного конвейера подразумевают его оснащение устройствами, осуществляющими тушение возникшего пожара.

Эффективность работы установки пожаротушения во многом зависит от оптимального выбора типа оросителя, его подачи, степени дробления (измельчения) истекающей водяной струи, а также давления воды.

Дисперсность капель определяется характером распыления оросителем исходящих водяных струй. По степени измельчения оросители бывают капельными (диаметр капель 0,4 мм), распылительными (диаметр 0,2-0,4 мм) и мелкораспылительными (диаметр меньше 0,2 мм).

Охлаждающая способность мелкораспыленной воды вследствие большой поверхности, приходящейся на единицу массы, значительно выше, чем крупнокапельных водяных струй.

Однако мелкие капли не всегда проникают в очаг горения, поэтому не смачивают горящую поверхность и не охлаждают ее до прекращения горения, так как в этом случае капли испаряются, не долетая до пламени. Поэтому одной из важнейших характеристик водяной капли является дальность полета и ее проникающая способность в очаг горения. Дальность полета капель увеличивается при увеличении давления воды перед оросителем. Проникающая способность струи в очаг горения зависит от размера капель, их скорости.

Увеличению проникающей способности капель распыленной струи способствует увеличение скорости потока воздуха. Следовательно, для целей локализации пожара в зоне его возникновения путем интенсивного охлаждения газового потока, исходящего из зоны пожара, должны быть использованы оросители, создающие мелкораспыленные струи с диаметром капель до 0,2 мм и менее.

С другой стороны, например, установка локализации и тушения пожаров в горных выработках, оборудованных ленточными конвейерами, должна выполнять две функции:

- интенсивное охлаждение исходящего из зоны пожара газового потока, для чего необходимы оросители, создающие мелкораспыленные струи;
- эффективное тушение развитого горения конвейерных лент с мощными восходящими потоками газообразных продуктов горения, для чего должны быть в установке также оросители, создающие капельные водяные струи с диаметром капель 0,2-0,4 мм и более, имеющие достаточную проникающую способность и сопротивление уносу восходящими газовыми потоками, исходящими от горячей конвейерной ленты.

Методика позволяет определить:

параметры тушения и локализации пожара на приводной части ленточного конвейера; эффективность локализации пожара.

Исходные данные для расчета

$L_{op}$  – длина участка орошения АСВП;

$q_n$  – удельная суммарная пожарная нагрузка, кг/м;

$Q_n$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки в выработке, кДж/кг;

$k_t$  – коэффициент нестационарного теплообмена между стенками выработки и газовым потоком, кДж/(м<sup>2</sup>·с·°С);

$F_{cm}$  – общая площадь поверхности выработки в зоне горения, участвующая в отборе теплоты, м<sup>2</sup>;

$P_e$  – периметр поперечного сечения выработки, м;

$\tau_{вг}$  – время выгорания пожарной нагрузки в сечении выработки, с;

$V_{вгi}$  – скорость выгорания i-го вида пожарной нагрузки, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\beta$  – степень выгорания горючих материалов конвейерных лент в шахтных условиях;

$d_k$  – средний диаметр капли воды в завесе, мм;

$P_{op}$  – давление воды перед оросителем, МПа;

$l_{ф}$  – длина факела распыленной воды, формируемой оросителем установки, м;

$h_{op}$  – высота размещения оросителя установки над поверхностью ТГМ в выработке, м;

$\rho_{ж}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\theta$  – угол распыления, град;

$C_{pm}$  – удельная теплоёмкость материала конвейерной ленты, кДж/кг·К;

$C_{pж}$  – удельная теплоёмкость воды, кДж/кг·К;

$C_{pg}$  – удельная теплоёмкость газоздушного потока, кДж/(кг·К);



$\rho_{ж}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{г}$  – плотность газообразных продуктов горения пожарной нагрузки, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{во}$  – температура воды в пожарно-оросительном трубопроводе, °С;

$t_{исп}$  – температура воды в завесе при испарении, °С;

$\omega$  – площадь поперечного сечения проходного канала (сопла) оросителя, м<sup>2</sup>;

$B$  – ширина конвейерной ленты, м;

$r$  – удельная теплота парообразования воды, кДж/кг;

### Порядок расчета

Расчет параметров развития и тушения пожара на приводной станции ленточного конвейера с помощью АСВП производится в следующем порядке.

Температура пожарных газов на выходе из зоны горения  $t_{гк}$ , °С, определяется по формуле:

$$t_{гк} = \frac{V_{np} \cdot q_n \cdot (0,8 \cdot Q_n - 586) + 26 \cdot Q_{г} + (0,1 + 0,08 \cdot V_{г}) \cdot F_{см}}{k_t \cdot F_{см} + 1,31 \cdot Q_{г}} \quad (1)$$

где  $q_n$  – удельная суммарная пожарная нагрузка, кг/м (ПР3.2, табл. 3):

$$q_n = \sum_{i=1}^n q_{ni} \quad (2)$$

$Q_n$  – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки в выработке, кДж/кг (табл. 1):

$$Q_n = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ni} \cdot q_{ni}}{\sum_{i=1}^n q_{ni}} \quad (3)$$

$k_t$  – коэффициент нестационарного теплообмена между стенками выработки и газовым потоком, кДж/(м<sup>2</sup>·с·°С):

$$k_t = 4,12 \cdot 10^{-3} \cdot (1,249 + V_{г}) \quad (4)$$

$F_{см}$  – общая площадь поверхности выработки в зоне горения, участвующая в отборе теплоты, м<sup>2</sup>:

$$F_{см} = P_{г} \cdot V_{np} \cdot \tau_{гг} \quad (5)$$

$P_{г}$  – периметр поперечного сечения выработки, м;

$\tau_{гг}$  – время выгорания пожарной нагрузки в сечении выработки, с;

$$\tau_{гг} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{q_{ni}}{V_{ггi}} \quad (6)$$

$V_{ггi}$  – скорость выгорания  $i$ -го вида пожарной нагрузки, кг/(м<sup>2</sup>·с) (табл. 1);

$Q_{г}$  – объемный расход газоздушного потока по выработке, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{г} = Q_{г} + \frac{2 \cdot L_{оп} \cdot q_n \cdot \beta}{\tau_{гг} \cdot \rho_{г}} \quad (7)$$

$L_{оп}$  – длина зоны орошения, создаваемой АСВП, м,  $L_{оп} = 18$  м (прил., табл. 5);

$\beta$  – степень выгорания горючих материалов конвейерных лент в шахтных условиях,  $\beta = 0,8$ ;

$\rho_g$  – плотность газообразных продуктов горения пожарной нагрузки, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_g = 1,913$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 3

## Характеристики пожарной нагрузки в горных выработках

Вид пожарной нагрузки	Нижшая теплота сгорания, кДж/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> ·с)
Резина (конвейерная лента, кабель)	29000	0,018
Уголь	31000	0,019
Древесина (затяжки, трапы, шпалы и т.п.)	17500	0,019

Требуемый (общий) расход воды  $Q_{общ}$ , м<sup>3</sup>/с, для эффективной локализации и тушения пожара в горной выработки, состоящий из расхода воды на охлаждение пожарных газов и на тушение твердых горючих материалов (ТГМ), должен составлять не менее:

$$Q_{общ} = Q_{охл} + Q_{туш} \quad (8)$$

или

$$Q_{общ} = z \cdot Q_g \quad (9)$$

где  $Q_{охл}$  – расход воды на охлаждение газового потока водяной завесой, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{туш}$  – расход воды на тушение ТГМ в аварийной выработке, м<sup>3</sup>/с;

$z$  – удельный расход воды на охлаждение пожарных газов и тушение ТГМ, м<sup>3</sup>/с;

Фактический расход воды через ороситель АСВП, м<sup>3</sup>/с:

$$q_{op} = \frac{Q_{общ}}{N_{op}} \quad (10)$$

где  $N_{op}$  – общее количество оросителей в установке.

Удельный расход воды на водяную завесу  $z$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$z = \frac{4,66 \cdot (t_g - t_{восп})}{253 + 2513 \cdot \chi} \quad (11)$$

где  $t_{гк}$  – температура пожарных газов на выходе из зоны горения, °С;

$\chi$  – доля воды, испарившейся в водяной завесе, формируемой АСВП (часть воды из общего ее расхода, подаваемого в зону локализации, необходимая для снижения температуры газового потока до безопасного значения):

$$\chi = \exp\left(-\frac{a \cdot d_k^2}{t_{гк}}\right) \quad (12)$$

где  $a$  – эмпирический коэффициент;  $a = 7695$  °С/мм<sup>2</sup>;

$d_k$  – средний диаметр капли воды в завесе, мм (или по табл. 4).

$$d_k = 0,129 \cdot P_{op}^{-0,67} \quad (13)$$

где  $P_{op}$  – давление воды перед оросителем, МПа.

Таблица 4

## Средний диаметр капли перед оросителем

Давление воды перед оросителем, $P_{op}$ , МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
Средний диаметр капли $d_k$ , мм	0,378	0,238	0,182	0,150	0,129	0,115	0,095	0,081

Значение величины  $\chi$  в зависимости от диаметра капель  $d_k$  и температуры  $t_{зк}$  потока пожарных газов перед водяной завесой приведены в табл. 5.

Таблица 5

## Значение доли испарившейся воды

Температура $t_{зк}$ , °С	Средний диаметр капель $d_k$ в водяной завесе, которые формируются АСВП, мм					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	Значения $\chi$					
	Эффективная работа АСЛТ			Неэффективная работа АСЛТ		
400	0,823	0,463	0,177	0,046	0,082	0,001
600	0,880	0,600	0,315	0,128	0,041	0,010
800	0,908	0,680	0,420	0,215	0,090	0,031
1000	0,923	0,735	0,500	0,292	0,146	0,063
1200	0,938	0,744	0,562	0,358	0,201	0,099

Значения удельного расхода воды  $z$ , необходимого для охлаждения  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  расхода пожарных газов и тушение ТГМ в аварийной выработке, приведены в табл. 6.

В общем случае температура  $t_{зк}$  рассчитывается по ф. 1. В случае, если значение  $t_{зк}$  отличается от приведенных в табл. 3-4, для определения  $\chi$  и  $z$  нужно использовать метод итераций.

Объем воды, поданной на локализацию пожара в выработке, делится на количество воды, находящейся во взвешенном состоянии и движущейся в свободном пространстве выработки, и воды, осевшей на стенках и почве выработки. Время испарения капель воды тисп, находящихся во взвешенном состоянии и движущихся в свободном пространстве выработки, должно отвечать следующим условиям:

$$\tau_{исп} \leq \tau_{пол} \quad (14)$$

где  $\tau_{пол}$  – среднее время полета капель воды, вылетающих горизонтально из распылителя, с.

В противном случае часть воды будет оседать на почву выработки, не участвуя в процессе охлаждения пожарных газов, что приводит к нерациональному расходу поданной на локализацию воды.

Таблица 6

## Удельный расход воды на охлаждение пожарных газов и тушение ТГМ в аварийной выработке

Температура на входе в завесу $t_{зк}$ , °С	Удельный расход воды $z$ , $\text{м}^3/\text{ч}$ , на охлаждение $1 \text{ м}^3/\text{с}$ пожарных газов и тушение ТГМ в аварийной выработке, не менее
	Средний диаметр капель $d_k$ , мм

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
400	0,344	0,559	1,102	1,985	2,584	2,74
600	0,76	1,058	1,75	3,08	4,794	5,947
800	1,16	1,492	2,212	3,584	5,729	7,997
1000	1,556	1,904	2,628	3,965	6,159	9,01
1200	1,948	2,307	3,028	4,32	6,45	9,479

На основании исследования механизма теплообмена мелкораспыленной воды и нагретого пожаром газового потока, движущегося по выработке, который заключается в интенсивности парообразования, характеризующей степень охлаждения пожарных газов, получена зависимость, определяющая полное время испарения распыленной жидкости (капли воды, которая вылетает из оросителя в горизонтальном направлении):

$$\tau_{исп} = \frac{l_{\phi}}{V_{\kappa}} + \frac{h_{op}}{V_{снк}} \quad (15)$$

где  $l_{\phi}$  – длина факела распыленной воды, формируемой оросителем установки, м,  $l_{\phi} = 5$  м (прил., табл. 6);

$h_{op}$  – высота размещения оросителя установки над поверхностью ТГМ в выработке, м,  $h_{op} = 2,5$  м;

$V_{\kappa}$  – скорость истечения жидкости из оросителя, т.е. скорость движения капель в воздушной среде, м/с:

$$V_{\kappa} = \sqrt{200 \cdot g \cdot P_{op}} \quad (16)$$

где  $P_{op}$  – давление воды перед оросителем, МПа;

$V_{снк}$  – скорость свободного падения (витания) капли в воздушной среде под влиянием земного тяготения, м/с:

$$V_{снк} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{ж} \cdot g \cdot r_{кф}}{3 \cdot \rho_{в} \cdot C_{X.снк}}} \quad (17)$$

где  $C_{X.снк}$  – коэффициент аэродинамического сопротивления воздушной среды при витании капли:

$$C_{X.снк} = \frac{14}{\sqrt{Re}} \quad (18)$$

где  $Re$  – число Рейнольдса, которое характеризует режим движения капель в воздушной среде,  $Re = 1000$ ;

$\rho_{ж}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{ж} = 999,8$  кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{в}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{в} = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;

$r_{к}$  – радиус капли в водяной завесе, м.

Время полета  $\tau_{пол}$ , с, т.е. продолжительность падения капли воды на поверхность выработки, в зависимости от высоты расположения распылителя  $h_{op}$  определяется как:

$$\tau_{пол} = \frac{h_{op}}{V_{снк}} \quad (19)$$

Глубина водяной завесы  $L_3$ , м, определяется по формулам:

$$L_3 = \begin{cases} V_в \cdot \tau_{исп}, \tau_{исп} < \tau_{пол} \\ \tau_{пол} \cdot (V_к \cdot \cos \theta + V_в), \tau_{исп} > \tau_{пол} \end{cases} \quad (20)$$

$\theta$  – угол распыления, град,  $\theta = 80^\circ$ .

Фактическое количество воды, м<sup>3</sup>/с, которая идет на тушение ТГМ, определяется по формуле:

$$Q_{туш.ф} = Q_{общ} \cdot (1 - \chi) \quad (21)$$

Это значение должно отвечать следующему условию:

$$Q_{туш.ф} \geq Q_{туш.н} \quad (22)$$

где  $Q_{туш.н}$  – нормативный расход воды на тушение ТГМ, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{туш.н} = \sum q_i \cdot L_3 \cdot \Pi_i \quad (23)$$

где  $q_i$  – нормированная интенсивность орошения для тушения  $i$ -го горючего материала (табл. 7), м<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>);

$\Pi_i$  – часть периметра аварийной выработки, на которой расположена пожарная нагрузка  $i$ -го вида, м.

Таблица 7

Нормированная интенсивность орошения для тушения

Вид горючего материала	Нормированная интенсивность орошения для тушения $q \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> /с
Древесина (крепь, затяжки, трапы и др.)	2,7-3,4
Конвейерная лента	1,0-1,4
Оболочки кабелей	0,8-1,2
Уголь	1,5-2,0

Эффективность локализации и тушения пожаров водяной завесой из распыленной воды, формируемой АСВП, характеризуется следующими условиями:

– температура охлаждения водяной завесой АСВП газовоздушного потока в аварийной выработке должна удовлетворять условию:

$$t_2 \leq t_{восп} \quad (24)$$

где  $t_2$  – температура газовоздушного потока после прохождения последнего эшелона установки, °С.

*Если условие не соблюдается, то необходимо увеличивать подачу воды, а расчет повторить заново.*

– время тушения пожара  $\tau_{TB}$  на поверхности ТГМ должно быть меньше времени  $\tau_{доп}$  возможного прохождения передним фронтом развитого пожара зоны орошения водяной завесой, формируемой АСВП, то есть:

$$\frac{\tau_{TB}}{\tau_{доп}} < 1 \quad (25)$$

где  $\tau_{TB}$  – время тушения пожара на поверхности ТГМ, обусловленное временем установления теплового баланса между очагом пожара на ТГМ и водяной завесой при условии, что фронт пламени вошел в контакт с зоной орошения, с:

$$\tau_{TB} = \frac{C_{pm} \cdot q_n \cdot (t_{восп} - t_{ло})}{q_{опн} \cdot B \cdot \rho_{ж} \cdot [C_{рж} \cdot (t_{исп} - t_{во}) + \chi \cdot r]} \quad (26)$$

где  $C_{pm}$  – удельная теплоёмкость материала конвейерной ленты, кДж/кг·К,  $C_{pm} = 1,42$  кДж/кг·К;

$C_{рж}$  – удельная теплоёмкость воды, кДж/кг·К,  $C_{рж} = 4217$  кДж/кг·К;

$\rho_{ж}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{ж} = 999,8$  кг/м<sup>3</sup>;

$t_{во}$  – температура воды в пожарно-оросительном трубопроводе, °С (принимается равным 20°С);

$t_{исп}$  – температура воды в завесе при испарении, °С (принимается равным 20°С);

$q_{опн}$  – удельный расход воды на 1 м<sup>2</sup> поверхности приводной секции конвейера, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с):

$$q_{опн} = \frac{Q_y}{4 \cdot L_{оп} \cdot \sqrt{S_с}} \quad (27)$$

$Q_y$  – подача воды через установку на горящую поверхность ТГМ а аварийной выработке, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_y = N_{оп} \cdot \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{200 \cdot g \cdot P_{оп}} \quad (28)$$

где  $N_{оп}$  – количество оросителей АСВП,  $N_{оп} = 11$  (прил., табл. 5):

$\mu$  – коэффициент расхода оросителя АСВП:

$$\mu = (1 + tg^2 \theta / 2)^{-0,5} \quad (29)$$

$\omega$  – площадь поперечного сечения проходного канала (сопла) оросителя, м<sup>2</sup> (0,0000785 м<sup>2</sup>):

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$B$  – ширина ленты, м (см. примечание к табл. 3, ПРЗ.2);

$r$  – удельная теплота парообразования воды, кДж/кг,  $R = 2501$  кДж/кг;

$\chi$  – доля воды, испарившейся в водяной завесе, формируемой АСВП.

$\tau_{доп}$  – допустимое время тушения пожара на приводной станции ленточного конвейера, с:

$$\tau_{доп} = \frac{60 \cdot L_{оп}}{V_{np}} \quad (30)$$

Температура газового потока  $t_с$ , °С, при выходе его из зоны орошения:

$$t_2 = t_{эк} - \frac{3 \cdot q_{op} \cdot N_{op} \cdot \tau \cdot \chi \cdot \rho_{жс} \cdot r}{S_г \cdot L_3 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2}} \quad (31)$$

где  $q_{op}$  – расход воды через один ороситель, м<sup>3</sup>/с;

$N_{op}$  – количество оросителей в зоне орошения, рассчитанных на на охлаждение газовой воздушного потока и тушение ТГМ (прил., табл. 5);

$\tau$  – временной параметр взаимодействия капель с потоком, с;

$$\tau = \begin{cases} \tau_{исп}, \tau_{исп} < \tau_{пол} \\ \tau_{пол}, \tau_{исп} > \tau_{пол} \end{cases}$$

$r$  – удельная теплота парообразования воды, кДж/кг (принимается равным 2501 кДж/кг);

$C_{p2}$  – удельная теплоемкость газовой воздушного потока, кДж/(кг·К).

**Пример.** В условиях ПР3.2 рассчитать параметры тушения и локализации пожара на приводной части ленточного конвейера при использовании автоматической установки УВПК-Б при следующих исходных данных:

параметры конвейерной выработки:  $S_г = 9 \text{ м}^2$ ;  $P_г = 11,4 \text{ м}$ ;  $V_г = 2 \text{ м/с}$ ;

параметры и условия работы установки автоматического пожаротушения УВПК-Б:  $P_{op} = 0,3 \text{ МПа}$ ;  $L_{op} = 18 \text{ м}$ ,  $N_{op} = 11$ ;  $\omega = 0,01 \text{ м}$ ,  $\theta = 80^\circ$ ;  $l_{\phi} = 5 \text{ м}$ ;  $h_{op} = 2 \text{ м}$ .

**Решение.**

1. Параметры развития пожара (ПР3.2, п. 1,4):

Расход воздушного потока в выработке (см. решение ПР3.2, п. 3):

$$Q_г = S_г \cdot V_г = 9 \cdot 2 = 18 \text{ м}^3/\text{с}$$

Объем воздуха, расходуемого на сгорание пожарной нагрузки на 1 м выработки (для 2 конвейерных ветвей) (см. решение ПР3.2, п. 1):

$$q_o = \sum_{i=1}^n q_{oi} = 2 \cdot 200 + 40 = 440 \text{ м}^3/\text{м}$$

Предельная скорость перемещения пожара по горной выработке (см. решение ПР3.2, п. 4):

$$V_{np} = \frac{Q_г}{q_o} = \frac{18}{440} = 0,04 \text{ м/с (2,4 м/мин)}$$

Удельная суммарная пожарная нагрузка, кг/м (ПР3.2, табл. 1) (ф. А):

$$q_n = \sum_{i=1}^n q_{ni} = 2 \cdot 20 + 5 = 45 \text{ кг/м}$$

Низшая теплота сгорания пожарной нагрузки в выработке (табл. 3) (ф. 3):

$$Q_n = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ni} \cdot q_{ni}}{\sum_{i=1}^n q_{ni}} = \frac{29000 \cdot 40 + 31000 \cdot 5}{40 + 5} = 19222 \text{ кДж/кг}$$

Коэффициент нестационарного теплообмена между стенками выработки и газовым потоком (ф. 4):

$$k_t = 4,12 \cdot 10^{-3} \cdot (1,249 + V_г) = 0,013 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$$

Время выгорания пожарной нагрузки в сечении выработки (ф. 6):

$$\tau_{\text{вз}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{q_{H_i}}{V_{\text{вз}_i}} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{40}{0,018} + \frac{5}{0,019} \right) = 1243 \text{ с}$$

Общая площадь поверхности выработки в зоне горения, участвующая в отборе теплоты (ф. 5):

$$F_{\text{см}} = P_{\text{в}} \cdot V_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{вз}} = 11,4 \cdot 0,04 \cdot 1243 = 567 \text{ м}^2$$

Объемный расход газозвдушного потока по выработке (ф. 7):

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{в}} + \frac{2 \cdot L_{\text{оп}} \cdot q_{\text{н}} \cdot \beta}{\tau_{\text{вз}} \cdot \rho_{\text{г}}} = 18 + \frac{2 \cdot 18 \cdot 45 \cdot 0,8}{1243 \cdot 1,913} = 18,5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Температура пожарных газов на выходе из зоны горения (ф. 1):

$$t_{\text{зк}} = \frac{V_{\text{пр}} \cdot q_{\text{н}} \cdot (0,8 \cdot Q_{\text{в}} - 586) + 26 \cdot Q_{\Gamma} + (0,1 + 0,08 \cdot V_{\text{в}}) \cdot F_{\text{см}}}{k_{\text{т}} \cdot F_{\text{см}} + 1,31 \cdot Q_{\Gamma}} =$$

$$= \frac{0,04 \cdot 45 \cdot (0,8 \cdot 19222 - 586) + 26 \cdot 18,5 + (0,1 + 0,08 \cdot 2) \cdot 567}{0,013 \cdot 567 + 1,31 \cdot 18,5} = 862 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. Параметры водяной завесы, формируемой АСВП:

Средний диаметр капли воды в завесе (ф. 13):

$$d_{\text{к}} = 0,129 \cdot P_{\text{оп}}^{-0,67} = 0,129 \cdot 0,3^{-0,67} = 0,29 \text{ мм}$$

Доля воды, испарившейся в водяной завесе, формируемой АСВП (ф. 12):

$$\chi = \exp\left(-\frac{a \cdot d_{\text{к}}^2}{t_{\text{зк}}}\right) = \exp\left(-\frac{7695 \cdot 0,29^2}{862}\right) = 0,47$$

Удельный расход воды на водяную завесу (ф. 11):

$$z = \frac{4,66 \cdot (t_{\text{зк}} - t_{\text{вочн}})}{253 + 2513 \cdot \chi} = \frac{4,66 \cdot (862 - 290)}{253 + 2513 \cdot 0,47} = 1,85 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ (} 0,0005 \text{ м}^3/\text{с)}$$

Требуемый расход воды на охлаждение пожарных газов и на тушение твердых горючих материалов, не менее (ф. 9):

$$Q_{\text{общ}} = z \cdot Q_{\text{в}} = 0,0005 \cdot 18 = 0,009 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (} 32,4 \text{ м}^3/\text{ч)}$$

Требуемый расход воды через ороситель АСВП, не менее (ф. 10):

$$q_{\text{оп}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{N_{\text{оп}}} = \frac{0,009}{11} = 0,0008 \text{ м}^3/\text{с}$$

Скорость истечения жидкости из оросителя (ф. 16):

$$V_{\text{к}} = \sqrt{200 \cdot g \cdot P_{\text{оп}}} = \sqrt{200 \cdot 9,8 \cdot 0,3} = 24,2 \text{ м/с}$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления воздушной среды при витании капли (ф. 18):

$$C_{\text{Х.снк}} = \frac{14}{\sqrt{\text{Re}}} = \frac{14}{\sqrt{1000}} = 0,44$$

Скорость свободного падения (витания) капли в воздушной среде под влиянием земного тяготения (ф. 17):

$$V_{\text{снк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot g \cdot r_{\text{к}}}{3 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{Х.снк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 999,8 \cdot 9,8 \cdot 0,000145}{3 \cdot 1,293 \cdot 0,44}} = 1,82 \text{ м/с}$$



Полное время испарения распыленной жидкости (ф. 15):

$$\tau_{исп} = \frac{l_{\phi}}{V_{\kappa}} + \frac{h_{op}}{V_{снк}} = \frac{5}{24,2} + \frac{2}{1,82} = 1,31 \text{ с}$$

Время полета капель воды начальным диаметром 0,29 мм, вылетающих из оросителя, составляет (ф. 19):

$$\tau_{пол} = \frac{h_{op}}{V_{снк}} = \frac{2}{1,82} = 1,1 \text{ с}$$

Таким образом,  $\tau_{исп} = 1,31 \text{ с} > \tau_{пол} = 1,1 \text{ с}$ .

Глубина водяной завесы при  $\tau_{исп} > \tau_{пол}$  и  $\theta = 80^\circ$  составляет (ф. 20):

$$L_3 = \tau_{пол} \cdot (V_{\kappa} \cdot \cos \theta + V_{\epsilon}) = 1,1 \cdot (24,2 \cdot 0,17 + 2) = 6,7 \text{ м}$$

Фактическое количество воды на тушение ТГМ (ф. 21):

$$Q_{туш.ф} = Q_{общ} \cdot (1 - \chi) = 0,009 \cdot (1 - 0,47) = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$$

Нормативный расход воды на тушение ТГМ (ф. 23):

$$Q_{туш.н} = \sum q_i \cdot L_3 \cdot \Pi_i = 0,00015 \cdot 2,7 \cdot 1 = 0,0019 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким образом, значение нормативного расхода воды на тушение твердых горючих материалов отвечает условию (ф. 22):

$$Q_{туш.ф} = 0,005 \geq Q_{туш.н} = 0,0019 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Эффективность локализации и тушения пожаров водяной завесой из распыленной воды, формируемой АСВП:

Коэффициент расхода оросителя АСВП (ф. 29):

$$\mu = \left(1 + tg^2 \frac{\theta}{2}\right)^{-0,5} = \left(1 + tg^2 \frac{80}{2}\right)^{-0,5} = 0,77$$

Подача воды через установку на горящую поверхность ТГМ в аварийной выработке (ф. 28):

$$Q_y = N_{op} \cdot \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{200 \cdot g \cdot P_{op}} = 11 \cdot 0,77 \cdot 0,0000785 \cdot \sqrt{200 \cdot 9,8 \cdot 0,3} = 0,016 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (78,5 м}^3/\text{ч)}$$

В дальнейших расчетах в качестве характеристики требуемого расхода воды используется параметр  $Q_y$ .

Удельный расход воды на 1 м<sup>2</sup> поверхности приводной секции конвейера (ф. 27):

$$q_{опн} = \frac{Q_y}{4 \cdot L_{op} \cdot \sqrt{S_{\epsilon}}} = \frac{0,016}{4 \cdot 18 \cdot \sqrt{9}} = 0,000074 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

Время установления теплового баланса между очагом пожара и водяной завесой (ф. 26):

$$\tau_{ТБ} = \frac{C_{pm} \cdot q_l \cdot (t_{восп} - t_{ло})}{q_{опн} \cdot B \cdot \rho_{ж} \cdot [C_{рж} \cdot (t_{исп} - t_{во}) + \chi \cdot R]} = \frac{1,42 \cdot 25 \cdot (290 - 30)}{0,000074 \cdot 2 \cdot 999,8 \cdot [4217 \cdot (20 - 20) + 0,47 \cdot 2502,7]} = 52 \text{ с}$$

Расход воды через один ороситель (ф. 10):

$$q_{op} = \frac{Q_y}{N_{op}} = \frac{0,016}{11} = 0,0015 \text{ м}^3/\text{с}$$

Температура газового потока при выходе его из зоны орошения (ф. 31):

$$t_z = t_{зк} - \frac{3 \cdot q_{op} \cdot N_{op} \cdot \tau \cdot \chi \cdot \rho_{жс} \cdot r}{S_g \cdot L_3 \cdot \rho_z \cdot C_{pz}} = 955 - \frac{3 \cdot 0,0015 \cdot 5 \cdot 1,1 \cdot 0,47 \cdot 999,8 \cdot 2501}{9 \cdot 6,7 \cdot 1,913 \cdot 0,826} = 565^\circ C$$

Допустимое время тушения пожара на приводной станции ленточного конвейера (ф. 30):

$$\tau_{дон} = \frac{60 \cdot L_{op}}{V_{np}} = \frac{60 \cdot 8}{2,4} = 450 \text{ с}$$

Таким образом, соблюдается только одно из условий эффективности локализации и тушения пожаров водяной завесой из распыленной воды, формируемой АСВП:

– время тушения пожара  $\tau_{ТБ}$  на поверхности твердых горючих материалов (конвейерной ленты) меньше времени  $\tau_{дон}$  возможного прохождения передним фронтом развитого пожара зоны орошения водяной завесой, формируемой АСВП (ф. 25):

$$\frac{\tau_{ТБ}}{\tau_{дон}} = \frac{52}{450} = 0,12 < 1$$

– температура охлаждения водяной завесой АСВП газовоздушного потока в аварийной выработке не удовлетворяет условию (ф. 24):

$$t_z = 565^\circ C > t_{восн} = 290^\circ C$$

*Повторный расчет при  $P_{op} = 0,75$  МПа*

В результате увеличения расхода воды установкой АСВП при давлении перед оросителем при  $P_{op} = 0,75$  МПа:

время установления теплового баланса между очагом пожара и водяной завесой составит (ф. 26):

$$\tau_{ТБ} = \frac{C_{pm} \cdot q_n \cdot (t_{восн} - t_n)}{q_{опн} \cdot B \cdot \rho_{жс} \cdot [C_{ржс} \cdot (t_{исн} - t_{во}) + \chi \cdot R]} = \frac{1,42 \cdot 25 \cdot (290 - 30)}{0,000117 \cdot 2 \cdot 999,8 \cdot [4217 \cdot (20 - 20) + 0,8 \cdot 2502,7]} = 20 \text{ с}$$

а температура газового потока при выходе его из зоны орошения (ф. 31):

$$t_z = t_{зк} - \frac{3 \cdot q_{op} \cdot N_{op} \cdot \tau \cdot \chi \cdot \rho_{жс} \cdot r}{S_g \cdot L_3 \cdot \rho_z \cdot C_{pz}} = 862 - \frac{3 \cdot 0,0023 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 999,8 \cdot 2501}{9 \cdot 12,8 \cdot 1,913 \cdot 0,826} = 288^\circ C$$

Таким образом, будут соблюдаться оба условия эффективности локализации и тушения пожаров водяной завесой из распыленной воды, формируемой АСВП:

– температура охлаждения водяной завесой АСВП газовоздушного потока в аварийной выработке удовлетворяет условию (ф. 25):

$$t_z = 288^\circ C \leq t_{восн} = 290^\circ C$$

– время тушения пожара  $\tau_{ТБ}$  на поверхности твердых горючих материалов (конвейерной ленты) меньше времени  $\tau_{дон}$  возможного прохождения передним фронтом развитого пожара зоны орошения водяной завесой, формируемой АСВП (ф. 24):

$$\frac{\tau_{ТБ}}{\tau_{дон}} = \frac{20}{450} = 0,04 < 1$$

### **3. Расчет расхода воды в установке автоматического пожаротушения УАП-Л для эффективной локализации пожара на линейном участке конвейерной ленты**

*Исходные данные для расчета*

$Q$  – средний расход воды на 1 м дренчерной линии, л/с;

$k_{np}$  – коэффициент производительности оросителя дренчера;

$K_T$  – удельная характеристика трубопровода, л<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>.

**Порядок выполнения**

Исходя из значения среднего расхода воды  $Q$  на 1 м дренчерной линии, определяется давление  $P$  перед оросителем, МПа, по табл. 8 или с помощью следующей аналитической зависимости:

$$P = 0,171 \cdot Q^2 - 0,014 \cdot Q + 0,006 \quad (32)$$

где  $Q$  – средний расход воды на 1 м дренчерной линии, л/с.

Таблица 8

Значения среднего удельного расхода на 1 м длины дренчерной линии

Давление перед оросителем, $P$ , МПа	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Средний удельный расход, $Q$ , л/м·с	0,55	0,78	1,1	1,35	1,56	1,74	1,9

Определяется расход воды на  $n$ -ом оросителе одной из ветвей УАП (левой или правой), л/с:

$$Q_n = 10 \cdot k_{np} \cdot \sqrt{P_n} \quad (33)$$

где  $k_{np}$  – коэффициент производительности оросителя дренчера, л/с;

$P_n$  – давление перед  $n$ -м оросителем дренчера, МПа.

Определяются потери давления на участке  $n$ –( $n+1$ ), МПа:

$$\Delta P_{n-(n+1)} = \frac{Q_{n-(n+1)}^2 \cdot L_{n-(n+1)}}{100 \cdot K_T} \quad (34)$$

где  $L_{n-(n+1)}$  – расстояние между дренчерными оросителями, м;

$K_T$  – удельная характеристика трубопровода, л<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>.

После определения расхода воды на  $n$ -м оросителе рассчитывается сумма расходов воды у  $n+1$ -го оросителя, л/с:

$$Q_{n+1}' = \sum Q_{n+1} = Q_n + Q_{n+1} \quad (35)$$

Аналогичным образом определяются параметры для всех оросителей одной из ветвей УАП, которые затем сводятся в отчетную таблицу.

При симметричной схеме расположения оросителей в левой и правой ветвях расчет гидравлических параметров УАП производится для одной из ветвей, а суммарный расход воды через УАП для левой (правой) ветви равен:

$$Q_{ЛВ} = Q_{ПР} = \sum Q_n \quad (36)$$

Суммарный расход воды через УАП для правой и левой ветвей при заданных значениях среднего расхода воды  $Q$  на 1 м дренчерной линии и давлении перед оросителями  $P$  составит:

$$\Sigma Q = Q_{ЛВ} + Q_{ПР} \quad (37)$$

**Пример.** Рассчитать расход воды в установке автоматического пожаротушения УАП-Л, необходимый для эффективной локализации пожара, возникшего на линейном участке конвейерной ленты в пределах пожарной секции выработки, при следующих исходных данных:  $k_{np} = 0,74$ ;  $Q = 1,25$  л/м·с,  $K_T = 34,5$  л<sup>6</sup>/с<sup>2</sup>. Высота линии составляет 2 м, высота точки присоединения линии – 3 м. Схема расположения модулей установки УАП-Л приведена в прил., табл. 7.

**Решение.**

(приведен алгоритм расчета для параметров первых двух участков (1–2, 2–3) левой ветви УАП)

Принимаем, что в действующей схеме УАП средний расход на 1 м дренчерной линии будет  $Q = 1,25$  л/м·с ( $0,00125$  м<sup>3</sup>/м·с), тогда согласно зависимости (ф. 32) давление перед оросителем составит:

$$P = 0,171 \cdot Q^2 - 0,014 \cdot Q + 0,006 = 0,171 \cdot 1,25^2 - 0,014 \cdot 1,25 + 0,006 = 0,26 \text{ МПа}$$

Расход воды на первом оросителе (ф. 33):

$$Q_1 = 10 \cdot k_{np} \cdot \sqrt{P_1} = 10 \cdot 0,74 \cdot \sqrt{0,26} = 3,77 \text{ л/с}$$

Потери давления на участке 1–2 (ф. 34):

$$\Delta P_{1-2} = \frac{Q_{1-2}^2 \cdot L_{1-2}}{100 \cdot K_T} = \frac{3,77^2 \cdot 0,5}{100 \cdot 34,5} = 0,00206 \text{ МПа}$$

Давление на втором оросителе:

$$P_2 = \Delta P_{1-2} + P_1 = 0,00206 + 0,26 = 0,26206 \text{ МПа}$$

Расход воды на втором оросителе:

$$Q_2 = 10 \cdot k_{np} \cdot \sqrt{P_2} = 10 \cdot 0,74 \cdot \sqrt{0,2621} = 3,79 \text{ л/с}$$

Сумма расходов у второго оросителя (ф. 35):

$$Q_2' = Q_1 + Q_2 = 3,77 + 3,79 = 7,56 \text{ л/с}$$

Потери давления на участке 2–3:

$$\Delta P_{2-3} = \frac{Q_{2-3}^2 \cdot L_{2-3}}{100 \cdot K_T} = \frac{3,79^2 \cdot 0,5}{100 \cdot 34,5} = 0,00208 \text{ МПа}$$

Давление на третьем оросителе:

$$P_2 = \Delta P_{2-3} + P_2 = 0,00208 + 0,26206 = 0,26414 \text{ МПа}$$

Дальнейший расчет гидравлических параметров УАП приведен в табл. 9.

Суммарный расход воды через УАП для правой (левой) ветви равен (ф. 36):

$$Q_{ЛВ} = Q_{ПР} = \sum Q_n = 28,77 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Суммарный расход воды через УАП для правой и левой ветвей при заданных значениях среднего расхода воды на 1 м дренчерной линии  $Q = 1,25$  л/м·с и давлении перед оросителями  $P = 0,26$  МПа составит (ф. 37):

$$\Sigma Q = Q_{ЛВ} + Q_{ПР} = 28,77 + 28,77 = 57,54 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таблица 9

Результаты гидравлического расчета параметров УАП ленточного конвейера  
(левая ветвь: 9 розеточных, 6 центробежных оросителей, 1 торцевой ороситель)

№ оросителя	$L_n$ , м	$Q_n$ , л/с	$\Delta P_{n-(n+1)}$ , МПа	$P_n$ , МПа	$\Sigma Q$ , л/с	$\Sigma Q$ , м <sup>3</sup> /ч
1	0,5	3,77	0,00206	0,26	3,77	13,58
2	0,5	3,79	0,00208	0,26206	7,56	27,22
3	0,5	3,80	0,00210	0,26414	7,59	27,33
4	0,5	3,82	0,00211	0,26624	7,62	27,44
5	0,5	3,83	0,00213	0,26835	7,65	27,55
6	0,5	3,85	0,00215	0,27048	7,68	27,66
7	0,5	3,86	0,00216	0,27263	7,71	27,76
8	0,5	3,88	0,00218	0,27479	7,74	27,87
9	0,5	3,89	0,00220	0,27697	7,77	27,99
10	0,5	3,91	0,00222	0,27917	7,80	28,10
11	0,5	3,93	0,00223	0,28139	7,84	28,21
12	0,5	3,94	0,00225	0,28362	7,87	28,32
13	0,5	3,96	0,00227	0,28587	7,90	28,43
14	0,5	3,97	0,00229	0,28814	7,93	28,54
15	0,5	3,99	0,00230	0,29043	7,96	28,66
16	0,5	4,00	0,00232	0,29273	7,99	<b>28,77</b>

## Приложение

Таблица 1

Нормативный расход воды на 1 м<sup>2</sup> площади сечения выработки

Скорость движения воздуха, м/с	1	2	3	4	5 и более
Расход воды на 1 м <sup>2</sup> площади сечения, м <sup>3</sup> /ч	5,0	5,5	6,0	7,1	8,0

**Примечание.** В выработках, закрепленных негорючей или трудногорючей крепью, расход воды на создание водяной завесы должен составлять 50 м<sup>3</sup>/ч независимо от скорости воздуха и площади сечения выработки. При устройстве водяной завесы для локализации и тушения пожара в вертикальном стволе необходимый расход воды на 1 м<sup>2</sup> площади сечения должен составлять не менее 2 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).

Таблица 2

Расход воды через водоразбрызгиватель ВВР-1 при двух работающих оросителях с диаметром выходного отверстия 16 мм

Давление воды перед оросителями, МПа	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	22,8	25,6	28,2	30,2	32,4	34,4	36,2	38,4	39,6	41,2	43,0

**Примечание.** При расходе менее 30 м<sup>3</sup>/ч эффективную завесу практически создать невозможно.

Таблица 3

Длина активной части струи и расход воды через пожарный ствол

Давление воды перед насадком работающего ствола, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Диаметр насадка, мм					
	16		19		22	
	Q <sub>н</sub> , м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	l <sub>с</sub> , м	Q <sub>н</sub> , м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	l <sub>с</sub> , м	Q <sub>н</sub> , м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	l <sub>с</sub> , м
0,15 (1,5)	12,2 (0,034)	7,5	17,3 (0,048)	7,8	23,8 (0,066)	8,2
0,20 (2,0)	14,0 (0,039)	9,1	19,8 (0,055)	9,3	27,8 (0,077)	10,1
0,25 (2,5)	15,8 (0,044)	10,1	22,3 (0,062)	10,7	30,2 (0,084)	11,6
0,30 (3,0)	17,3 (0,048)	11,0	24,5 (0,068)	11,5	33,1 (0,092)	12,0
0,35 (3,5)	18,7 (0,052)	11,7	26,3 (0,073)	12,0	–	–
0,40 (4,0)	19,8 (0,055)	12,0	–	–	–	–

**Примечание.** Если давление воды перед насадком работающего ствола превышает значения, приведенные в таблице, длину активной части водяной струи принимают равной 12 м.

Таблица 4

Расход воды пожарными стволами при нормативном ее давлении перед насадком

Количество одновременно работающих стволов	Расход воды при диаметре насадка ствола, мм					
	16		19		22	
	л/с	м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	л/с	м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	л/с	м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)
1	5,3	19,1 (0,053)	7,0	25,2 (0,07)	8,8	31,6 (0,088)
2	10,6	38,2 (0,100)	14,0	50,4 (0,14)	17,6	63,2 (0,632)
3	15,9	57,3 (0,159)	21,0	75,6 (0,21)	26,4	94,8 (0,948)

Таблица 5

## Технические данные установки УВПК-Б

Наименование основного параметра	Норма для исполнения
Минимальное рабочее давление, МПа	0,35
Максимальное рабочее давление, МПа	2,0
Статическое давление воды перед установкой, МПа	2,5
Расход воды не менее, м <sup>3</sup> /ч	44
Число защищаемых зон	6
Количество оросителей: общее, в том числе:	11
на орошение барабанов приводной станции	6
на охлаждение газовоздушного потока и тушение ТГМ	5
Количество эшелонов локализации и тушения в АСВП	2
Количество оросителей по эшелонам:	
I	3
II	2
Длина защищаемой ленты не менее, м	18
Температура срабатывания теплового датчика не менее, °С	72
Степень распыления воды, средний диаметр капель, мм	0,3
Инерционность срабатывания теплового датчика не более, с	330
Масса не более, кг	168

Таблица 6

## Технические данные распылителя РВ-10

Наименование основного параметра	Норма для исполнения
Условный проход, мм	10
Принцип работы устройства	струйно-центробежный
Форма распыленной воды	равномерно заполненный конус
Средний диаметр капель, мм:	
при давлении в системе 0,6 МПа	0,3
при давлении в системе 1,6 МПа	0,1
Диапазон рабочего давления, МПа	0,3-2
Параметры распыления воды при рабочем давлении 0,6 МПа:	
расход воды, м <sup>3</sup> /ч (м <sup>3</sup> /с)	3,6
длина факела, м	5
угол раскрытия факела	80°

Таблица 7

## Техническая характеристика установки автоматического пожаротушения УАП

Параметр	Величина
Рабочее давление, МПа	0,2-4
Сигнализирующий манометр с пределом измерений, МПа	6
Расход воды через установку УАП, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /ч): при давлении 0,2 МПа при давлении 4 МПа	0,008 (28) 0,022 (79,2)
Удельный расход воды для тушения горячей поверхности (конвейерной ленты), для УАП-П, УАП-Н, УАП-Р, л/с·м <sup>2</sup>	–
Удельный расход воды для локализации развившегося пожара, м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>3</sup> /с пожарных газов для УАП-Л	2,4
Удельный расход воды для завесы, для УАП-В, м <sup>3</sup> /ч	50
Температура срабатывания теплового датчика, °С	68
Время срабатывания, не более, с	3
Площадь сечения защищаемых горных выработок, м <sup>2</sup> : горизонтальных вертикальных	4-25 до 50
Протяженность зоны орошения, м	до 10 м
Расход воды через ороситель, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /ч): розеточный торцевой центробежный	0,00038 (1,6) 0,00038 (1,6) 0,00075 (2,7)
Количество оросителей, шт.: розеточные торцевые центробежные	18 2 12
Количество датчиков, шт.	2
Глубина (длина) зоны орошения, м	до 7,5 м
Интенсивность орошения для тушения горячей поверхности (конвейерная лента), л/с·м <sup>2</sup>	0,3
Диаметр капель воды, м	$0,41 \cdot e^{-0,3}$ (0,3)
Инерционность срабатывания установки от момента начала прогрева зоны, контролируемой тепловым датчиком, с	180

## Практическая работа № 6

## ПАРАМЕТРЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ОГNETУШАЩИМИ ПОРОШКАМИ

**Цель:** Ознакомиться с методиками дистанционного тушения подземного пожара порошковыми средствами пожаротушения.

Огнетушащие порошки, как правило, состоят из неорганических солей сульфатов и фосфатов аммония и гидрофобизирующих (отталкивающих воду) добавок. На основе ингибирования (замедления) активных центров пламени поверхностью частиц порошка и продуктами его разложения порошки прекращают цепную реакцию горения. Эффект ингибирования усиливается также за счет поглощения теплоты на испарение частичек порошка. Кроме того, частички порошка, попадая в пламя и на горящую поверхность, под действием высокой температуры расплавляются и, спекаясь, образуют твердое стекловидное покрытие (полифосфатную пленку), которое препятствует доступу кислорода к очагам



горения. Таким образом, попадая на горящую поверхность, порошок действует одновременно как средство замедления реакции горения (ингибитор), средство изоляции очага горения и средство охлаждения.

Частицы порошка, находящиеся во взвешенном состоянии в рудничной атмосфере, могут образовывать воздушно-порошковое облако с содержанием порошка 70-150 г/м<sup>3</sup>, при котором невозможно пламенное горение. Кроме того, выходящая из огнетушителя струя порошка может механически сбивать пламя с горящих объектов.

Огнетушительные порошки П-1А, П-2АП, П-3АТ предназначены для тушения легковоспламеняющихся горючих жидкостей, древесины, угля, резинотехнических, полимерных изделий и электрооборудования под напряжением (табл. 1). Порошок П-1А используется для снаряжения герметичных емкостей порошковой техники, порошки П-2АП и П-3АТ – при дистанционном тушении подземных пожаров в горизонтальных и наклонных выработках шахт путем подачи их по трубопроводам или в спутный вентиляционный поток с помощью устройств типа «Вихрь».

Таблица 1

## Основные технические характеристики порошков

Показатели	Огнетушащие порошки		
	П-1А	П-2АП	П-3АТ
Массовая доля компонента, %:			
аммофоса	99,0-99,5	91,0-93,5	96,5-97,0
аэросила	0,5-1,0	1,5-2,0	3,0-3,5
пирофиллит	–	5-7	–
Содержание влаги, %	0,5	0,5	0,5
Текучесть, с	20	10	5
Размер частиц, мкм	80-90	40-50	10-15

Порошковые средства (прил., табл. 1-3) применяют для тушения деревянной крепи, конвейерной ленты, минерального масла, угля, метана и электрооборудования, которое находится под напряжением.

Переносные порошковые огнетушители целесообразно применять для непосредственного тушения пожаров в начальной стадии их развития.

Дальность эффективного действия порошковых ручных огнетушителей и передвижных установок равна максимальной дальности выброса ими порошка, которая берется из технических характеристик (прил. 1, табл. 1, 3).

Площадь тушения характеризуется величиной горячей поверхности закрепленной части периметра выработки, которую можно потушить одним огнетушителем или установкой. Общая ее величина зависит от количества применяемых огнетушителей и тактики их применения.

Для дистанционного объемного тушения пожаров эффективным является одновременное применение нескольких огнетушителей с выпуском огнетушащего порошка в верхнюю часть выработки по ходу вентиляционной струи, что позволяет увеличить дальность и площадь тушения (метод массированного применения порошковых огнетушителей). Обычно выпускают огнетушащий порошок двумя партиями огнетушителей, выпуск следует один за другим через 10-12 с. Количество огнетушителей в каждой партии зависит от площади сечения выработки, скорости движения воздуха в ней (рис. 1).

Количество огнетушителей  $n$  первой и второй (меньшей) партий рекомендуется определять по графику на рис. 2. В случае необходимости применение огнетушителей повторяют в таком же порядке.

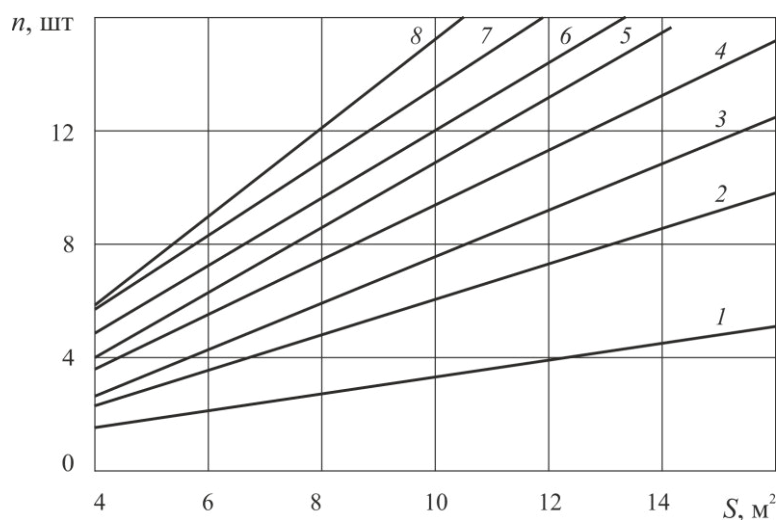


Рис.1. Зависимость количества огнетушителей в партии от площади сечения выработки при скорости движения воздуха в ней: 1 – 1,0 м/с; 2 – 2,0 м/с; 3 – 2,5 м/с; 4 – 3,0 м/с; 5 – 3,5 м/с; 6 – 4,0 м/с; 7 – 4,5 м/с; 8 – 5,0 м/с

В передвижных порошковых огнетушителях, полная масса которых от 20 до 450 кг, выброс порошка из емкости осуществляется за счет энергии сжатого воздуха. Порошок поступает в напорный рукав, который заканчивается пистолетом, через который порошок выбрасывается на очаг горения прерывистыми струями.

Складированные материалы (костры, затяжки, стойки) во время тушения необходимо разбирать и повторно обрабатывать порошком.

Конвейерную ленту, которая горит, необходимо обрабатывать порошком с обеих сторон. Тушение ленты необходимо начинать с нижней части ветви. В случае расслоения ленты обрабатывают каждый слой отдельно.

Установки порошкового пожаротушения большой вместимости (типа «Вихрь») применяют для дистанционного объемного тушения пожаров тонкодисперсными порошками путем подачи их в спутный вентиляционный поток с расходом не менее 2,5 кг/с или по вентиляционным трубам диаметром 500-600 мм с расходом 1,0-1,2 кг/с. Для горизонтальных выработок с расходом воздуха до 600 м<sup>3</sup>/мин и его скорости от 1,5 до 2,0 м/с дальность эффективного действия установки при подаче огнетушащего порошка П-2АПМ к очагу пожара в спутный вентиляционный поток определяют по графику на рис. 6-7.

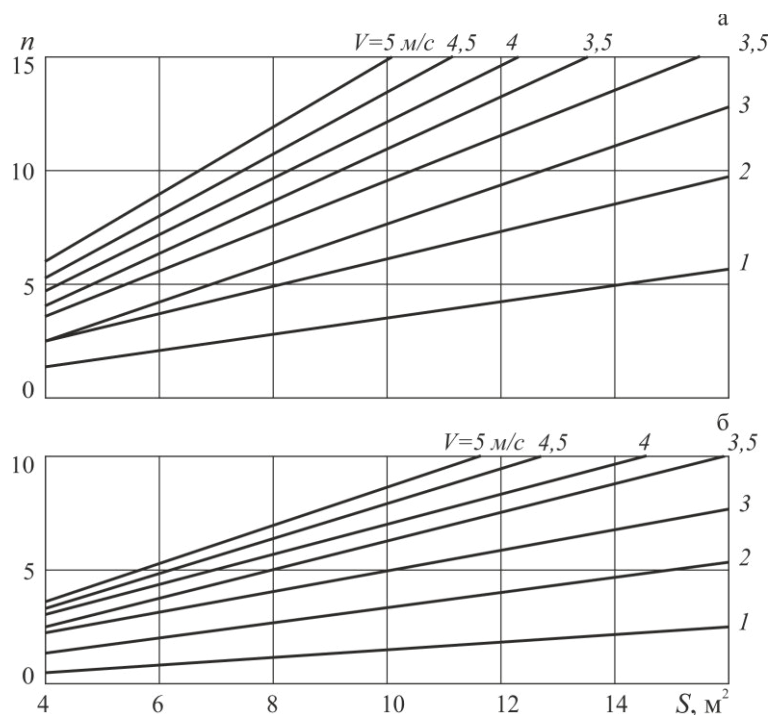


Рис. 2. График для определения числа порошковых огнетушителей: а – одновременно включаемых первыми; б – включаемых через 10-15 сек после первой партии.

В выработках с площадью сечения более  $8 \text{ м}^2$  при расходе воздуха  $600 \text{ м}^3/\text{мин}$  рекомендовано применять две установки типа «Вихрь» одновременно. Дальность их эффективного действия определяют по графику на рис. 4.

Через каждые 10-15 мин подачу порошка прекращают, производят визуальный осмотр потушенной части выработки, а установка передвигается ближе к очагу пожара. При наличии в выработке обрушенных пород или других препятствий подачу порошка к очагу пожара осуществляют по вентиляционным трубам.

При тушении пожаров в тупиковых выработках применение установки типа «Вихрь» эффективно при расходе воздуха в вентиляционном трубопроводе  $180\text{-}360 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

### **1. Дистанционное тушение пожара с использованием порошковых огнетушителей**

Данная методика расчета позволяет определить:  
количество применяемых огнетушителей.

#### Исходные данные для расчета

$V_a$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с.

$S$  – площадь сечения выработки в свету,  $\text{м}^2$ ;

$L_n$  – дальность распространения пожара, м;

$S_r$  – площадь горящей поверхности;

вид горючих материалов в выработке;

система проветривания.

Основными параметрами тушения подземных пожаров ручными огнетушителями и передвижными установками являются:

дальность эффективного действия огнетушителя (установки)  $L_y$ ;

площадь тушения  $S_T$ ;

продолжительность непрерывного действия  $\tau_T$ .

### **Порядок расчета**

1. Используя сведения о месте возникновения и условиях развития подземного пожара (исходные данные, прил., табл. 3) выбрать предварительную тактическую схему тушения пожара.

2. По номограмме (рис. 1) определить нормативное количество огнетушителей  $n_n$  в партии от площади сечения выработки и скорости движения воздуха в ней.

3. Сравнить нормативное количество огнетушителей с расчетным  $n_p$  (ф. 1), исходя из площади горения основных горючих элементов горной выработки и огнетушащей способности ручных порошковых огнетушителей:

$$n_p = \frac{S_{\Gamma}^i}{S_{oc}^i} \quad (1)$$

где  $S_{\Gamma}^i$  – площадь горячей поверхности  $i$ -го вида горючей нагрузки,  $m^2$  (исходные данные);

$S_{oc}^i$  – огнетушащая способность к тушению горячей поверхности  $i$ -го вида горючей нагрузки,  $m^2$  (прил., табл. 1);

3. Определить общее количество огнетушащего порошка огнетушителей, применяемых для тушения пожара, кг:

$$M_{общ} = \sum_{i=1}^n M_i = n_p \cdot M \quad (2)$$

где  $n$  – расчетное количество порошковых огнетушителей, шт;

$M$  – масса огнетушащего порошка, кг (прил., табл. 1).

4. Продолжительность непрерывного действия огнетушителей, с:

$$\tau_T = \frac{M}{A} \quad (3)$$

где:  $M$  – масса огнетушащего порошка, кг (прил., табл. 1);

$A$  – расход огнетушащего вещества, кг/с (прил., табл. 1).

**Пример 1.** В условиях ПР3.2 определить количество огнетушителей в партии, необходимое для тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке в начальной стадии развития. Исходные данные:  $V_g = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $S_{\Gamma} = 8,2$  м<sup>2</sup>;  $L_n = 4,1$  м,  $\tau = 20$  мин.

**Решение.**

1. Для эффективной локализации пожара в горизонтальной выработке порошковыми огнетушителями необходимо соблюдение следующих условий («+» – соответствие условию, «-» – несоответствие условию) (прил. 1, табл. 1, 2):

– время эффективного тушения с момента возникновения пожара:

огнетушители переносные – 10-20 мин ( $\tau = 20$  мин / +);

огнетушители передвижные – 40-60 мин ( $\tau = 20$  мин / +);

– длина зоны горения:

огнетушители переносные – до 10 м ( $L_n = 4,1$  м / +);

огнетушители передвижные – 20-30 м ( $L_n = 4,1$  м / +);

Таким образом, для эффективной локализации пожара в заданных условиях будет достаточным применение 1-2 партий переносных порошковых огнетушителей, одновременно подающих порошок в вентиляционный поток со стороны свежей струи. В дальнейших расчетах используются технические характеристики ручных огнетушителей ОПШ-10Г (прил. 1, табл. 1).

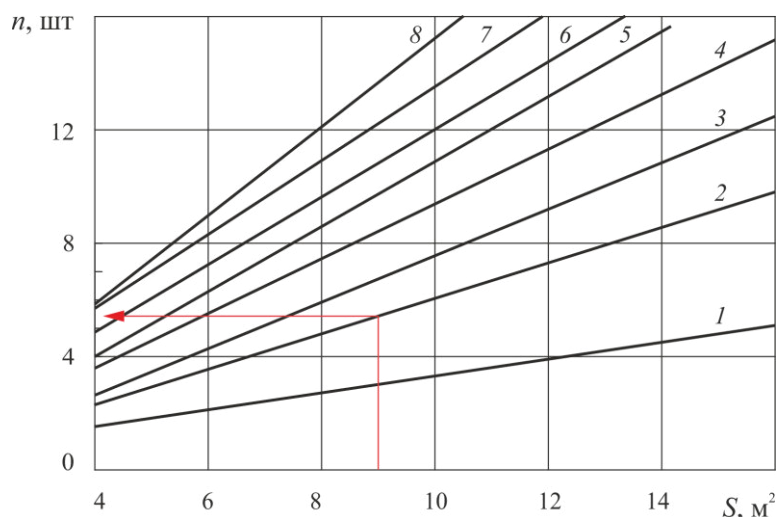


Рис.3. Зависимость количества огнетушителей в партии от площади сечения выработки  $S = 9$  м<sup>2</sup> при скорости движения воздуха в ней  $V = 2$  м/с.

1. По номограмме (рис. 1) количество огнетушителей в партии, одновременно применяемых на начальной стадии тушения пожара, составляет 6 шт (рис. 3; округление в сторону большего целого значения).

2. Исходя из огнетушащей способности ОПШ-10Г к тушению конвейерной ленты, равной  $S_{oc}^k = 2$  м<sup>2</sup>, необходимое количество огнетушителей должно составлять (ф. 1):

$$n_k = \frac{S_r}{S_{oc}^k} = \frac{8,2}{2} = 4,1 \rightarrow 5 \text{ шт}$$

Таким образом, нормативное количество огнетушителей ОПШ-10Г, применяемых для тушения пожара в начальной стадии в горной выработке с площадью поперечного сечения  $S = 9$  м<sup>2</sup> и скоростью вентиляционной струи  $V_g = 2$  м/с соответствует расчетному.

4. Общее количество (масса) огнетушащего порошка при использовании огнетушителей ОПШ-10Г составит (ф. 2):

$$M_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n M_i = n \cdot M = 5 \cdot 8 = 40 \text{ кг}$$

5. Продолжительность непрерывного действия огнетушителей ОПШ-10Г, одновременно применяемых на начальной стадии тушения пожара (ф. 3):

$$\tau_T = \frac{n \cdot M}{A} = \frac{5 \cdot 8}{0,5} = 80 \text{ с}$$

**Пример 2.** В условиях ПРЗ.2 определить количество огнетушителей в двух партиях необходимое для тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке в начальной стадии развития. Исходные данные:  $V_в = 2 \text{ м/с}$ ;  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $S_T = 8,2 \text{ м}^2$ ;  $L_n = 4,1 \text{ м}$ ,  $\tau = 20 \text{ мин}$ .

1. При массовом применении огнетушителей по номограмме (рис. 2а, б) количество огнетушителей, одновременно включаемых первыми, составляет 6 шт., включаемых через 10-15 с после первой партии – 3 шт. (рис. 4а, б).

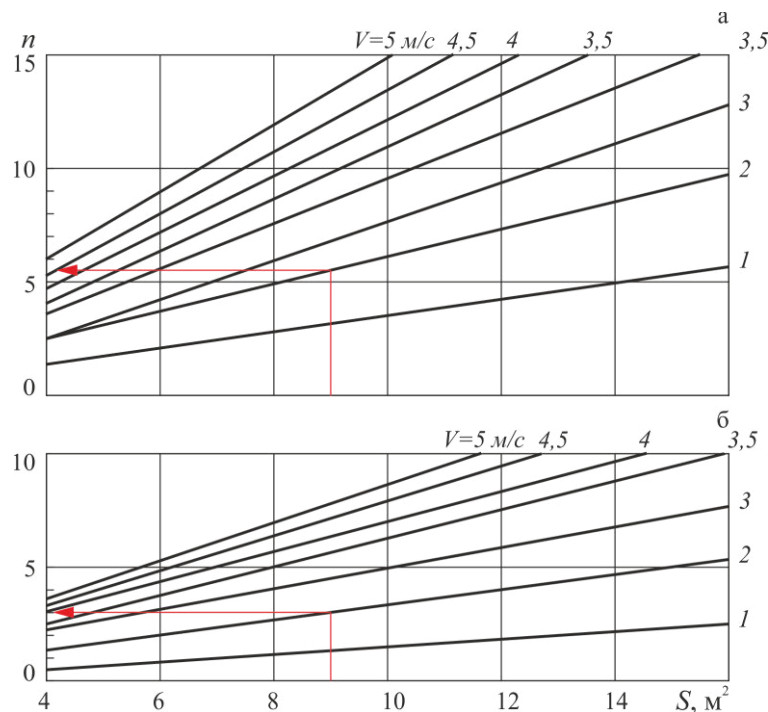


Рис. 4. График для определения числа порошковых огнетушителей при площади сечения выработки  $S = 9 \text{ м}^2$  и скорости движения воздуха в ней  $V = 2 \text{ м/с}$ : а – одновременно включаемых первыми; б – включаемых через 10-15 сек после первой партии

2. См. п. 2 в примере 1.

3. Суммарная масса огнетушащего порошка при использовании огнетушителей ОПШ-10Г составит:

$$M_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n M_i = n_1 \cdot M + n_2 \cdot M = 6 \cdot 8 + 3 \cdot 8 = 72 \text{ кг}$$

4. Продолжительность непрерывного действия огнетушителей ОПШ-10Г, одновременно включаемых первыми, составляет:

$$\tau_T^1 = \frac{n \cdot M}{A} = \frac{6 \cdot 8}{0,5} = 96 \text{ с}$$

включаемых через 10-15 с после первой партии:

$$\tau_T^2 = \frac{n \cdot M}{A} = \frac{3 \cdot 8}{0,5} = 48 \text{ с}$$

Суммарная продолжительность массового применения огнетушителей ОПШ-10:

$$\tau_T = \tau_T^1 + \tau_T^2 + \tau_n = 96 + 48 + 15 = 159 \text{ с}$$

## 2. Расчет параметров дистанционного тушения пожара порошковыми установками

Данная методика позволяет определить:

дальность эффективного действия пожаротушащей установки  $l_T$ ;

продолжительность тушения  $\tau_T$ ;

массу порошка для ликвидации пожара  $M$ .

### Исходные данные для расчета

$A$  – расход порошка установкой:

для сквозных выработок: МГППУ – 2-2,5 кг/с; ППУ – 4-5 кг/с;

при подаче по вентиляционному трубопроводу: МГППУ – 1-1,3 кг/с; ППУ – 2-2,5 кг/с;

$L_n$  – дальность распространения пожара на начало дистанционного тушения, м;

$L_o$  – расстояние от места выброса порошка в выработку до места возникновения пожара, м;

$V_c$  – скорость воздушного потока в аварийной выработке, м/с;

$S$  – сечение аварийной выработки, м<sup>2</sup>;

$Q$  – расход воздуха в тупиковой выработке, м<sup>3</sup>/мин.

### Порядок расчета

1. По плану горных работ и с учетом фактического положения в шахте (наличие электроэнергии, подъездных путей, размещения вентиляционного трубопровода) выбирается место расположения пожаротушащей установки (максимально ближе к очагу пожара) и, таким образом, определяется величина  $L_o$ .

2. По соответствующей методике определяется дальность распространения пожара на начало дистанционного тушения  $L_n$ . (ПР1.2)

3. Определяется требуемая дальность тушения  $L_T$ , т.е. расстояние от места расположения порошковой установки (места выброса порошка в выработку) до фронта зоны пламенного горения):

$$L_T = L_n \pm L_o \quad (1)$$

где  $L_n$  – дальность распространения пожара на начало дистанционного тушения, м;

$L_o$  – расстояние от места выброса порошка в выработку до места возникновения пожара, м (знак « $\pm$ » появляется в тех случаях, когда установка расположена между фронтом зоны горения и местом возникновения пожара (размещена в ранее потушенной части выработки))

4. Определяем продолжительность тушения пожара в сквозных выработках:

$$\tau_T = 0,0027 \cdot L_T^2 + 0,08 \cdot L_T + 1,3 \quad (2)$$

5. Продолжительность подачи огнетушащего порошка по вентиляционным трубам для тушения пожара в тупиковых выработках зависит от расхода подаваемого в забой воздуха и определяется по графику (рис. 5).

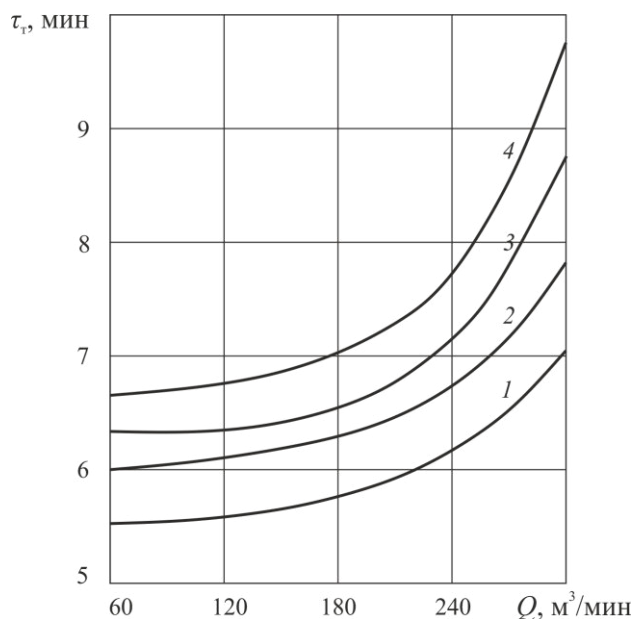


Рис. 5. Продолжительность дистанционного тушения огнетушащим порошком (подача по вентиляционным трубам) пожаров в горизонтальных и наклонных тупиковых выработках при площади их сечения: 1 – 4,0 м²; 2 – 6,0 м²; 3 – 8,0 м²; 4 – 10,0 м².

6. Определяем дальность эффективного действия пожаротушащей установки  $l_T$  типа «Вихрь» или ППУ (от точки выброса порошка) при подаче порошка П-2АП или супертонкодисперсного в выработках различной площади поперечного сечения по нижеприведенным графикам (рис. 6-7). В случае если  $l_T < L_T$ , то тушение производится участками с последующим перемещением установки в ранее потушенную часть выработки или наращиванием вентиляционного трубопровода.

Увеличение дальности эффективного действия может быть достигнуто за счет одновременной работы двух установок «Вихрь» или при помощи установки ППУ, что видно из графиков.

При применении двух установок «Вихрь» их располагают в выработке на расстоянии 5-7 м друг от друга.

7. Определяем массу огнетушащего порошка, необходимого для ликвидации пожара:

$$M = 60 \cdot A \cdot \sum_{i=1}^n \tau_T \quad (3)$$

где  $A$  – расход порошка установкой, кг/с

$\sum_{i=1}^n \tau_T$  – продолжительность тушения всех участков аварийной выработки, мин



**Внимание:** Огнетушащие порошки высокоэффективны при использовании для прекращения пламенного горения и первичного охлаждения горящих участков (до температуры 200-250°C). Дальнейшее охлаждение и окончательную ликвидацию оставшихся локальных очагов горения (тления) проводить водой или пеной.

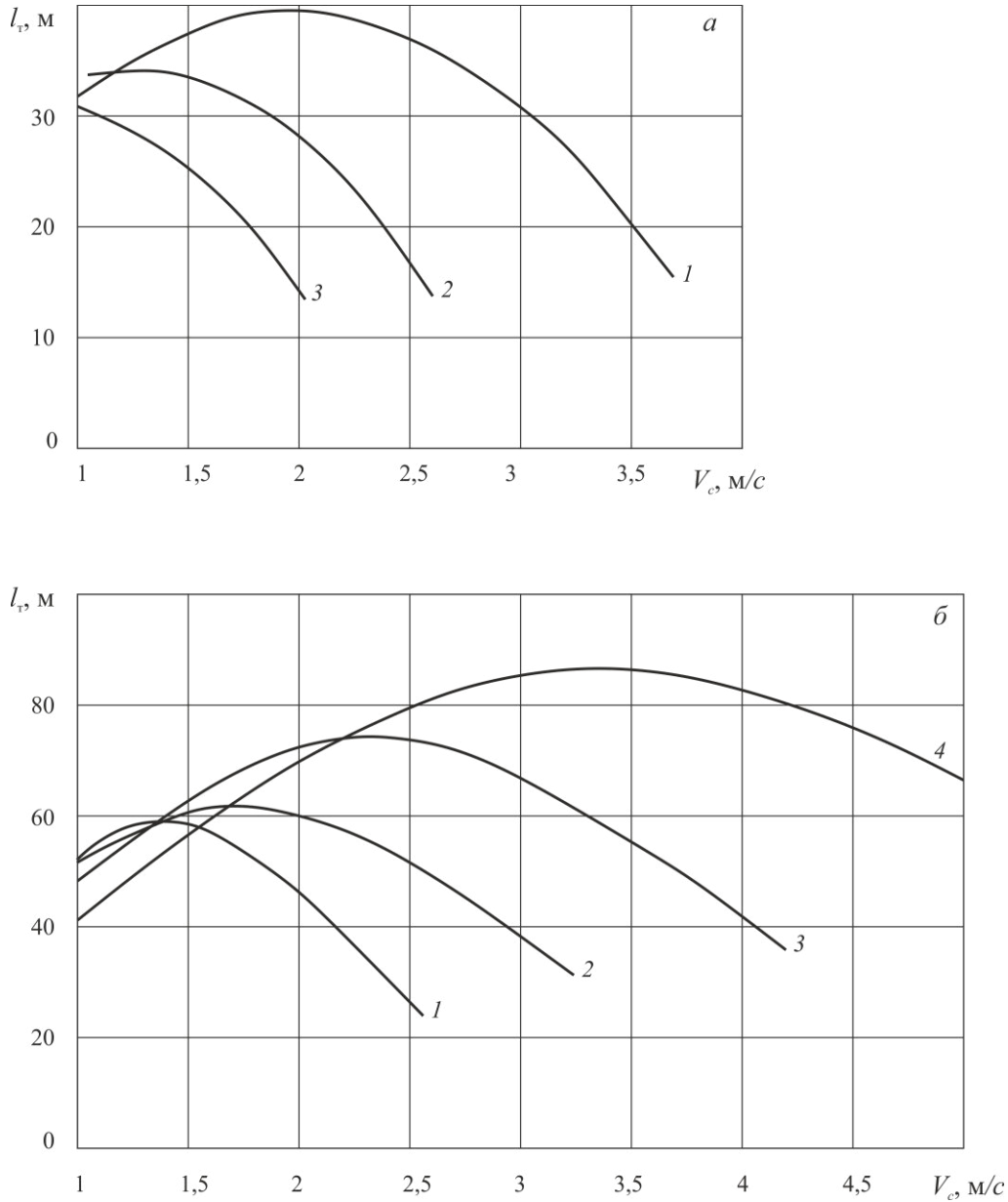


Рис. 6. Дальность эффективного действия установки «Вихрь» при подаче порошка П-2АП (а) и супертонкодисперстного (б) в выработках с площадью сечения:

1 – 4,5 м<sup>2</sup>; 2 – 6,6 м<sup>2</sup>; 3 – 8,8 м<sup>2</sup>; 4 – 11 м<sup>2</sup>

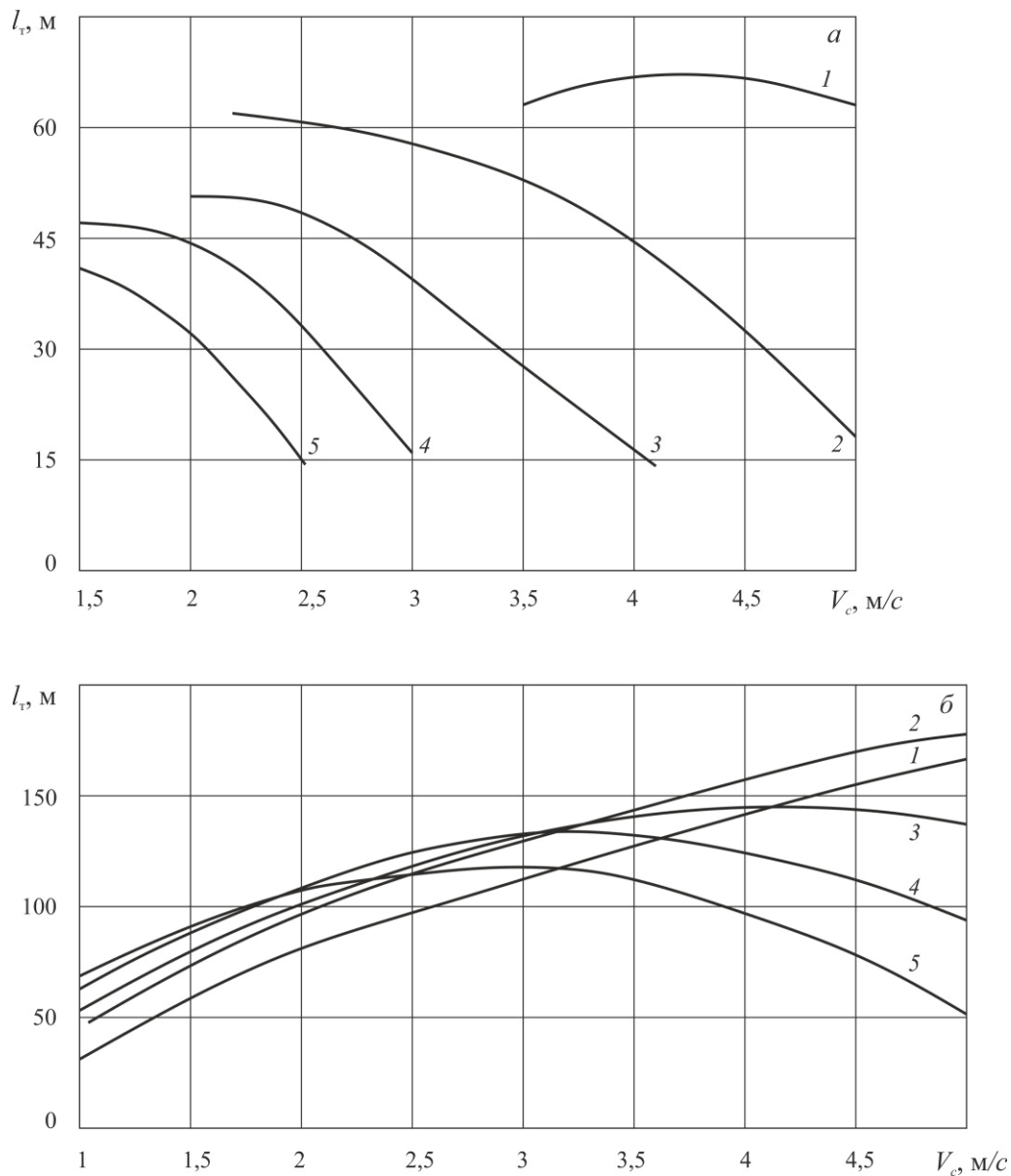


Рис. 7. Дальность эффективного действия двух установок «Вихрь» или одной установки ППУ при подаче порошка П-2АП (а) и супертонкодисперстного (б) в выработках с площадью сечения: 1 – 4,5 м<sup>2</sup>; 2 – 6,6 м<sup>2</sup>; 3 – 8,8 м<sup>2</sup>; 4 – 11 м<sup>2</sup>; 5 – 13 м<sup>2</sup>

*Пример.* В условиях ПРЗ.2 рассчитать параметры дистанционного тушения пожара в 6-м южном конвейерном штреке пылевыми установками при следующих исходных данных:  $L_n = 58,1$  м;  $L_o = 30$  м;  $V_c = 2$  м/с;  $S = 9$  м<sup>2</sup>;  $Q = 1080$  м<sup>3</sup>/мин;  $\tau = 80$  мин.

*Решение.*

1. Для эффективной локализации пожара в горизонтальной выработке одной пылевой установкой «Вихрь» необходимо соблюдение следующих условий (прил., табл. 1, 2):

- время эффективного тушения с момента возникновения пожара: 60-240 мин ( $t = 80$  мин / +);
- длина зоны горения до 30 м ( $L_n = 58,1$  м / –);
- площадь поперечного сечения выработки не более 8 м<sup>2</sup> ( $S = 9$  м<sup>2</sup> / –);

– скорость вентиляционного потока не менее 1,5 м/с ( $V_c - 2$  м/с / +).

Таким образом, для эффективной локализации пожара в заданных условиях целесообразно применение 2 установок «Вихрь», подающих порошок в вентиляционный поток со стороны свежей струи.

2. Величина расстояния от места выброса порошка в выработку до места возникновения пожара  $L_o = 30$  м.

3. Требуемая дальность тушения  $L_T$  составляет (ф. 1):

$$L_T = L_n \pm L_o = 30 + 58,1 = 88,1 \text{ м}$$

4. Продолжительность тушения пожара в сквозных выработках (ф. 2):

$$\tau_T = 0,0027 \cdot L_T^2 + 0,08 \cdot L_T + 1,3 = 0,0027 \cdot 88,1^2 + 0,08 \cdot 88,1 + 1,3 = 218 \text{ мин}$$

5. Дальность эффективного действия двух пожаротушащих установок типа «Вихрь» (от точки выброса порошка) в выработке с  $S = 9 \text{ м}^2$  при скорости вентиляционного потока  $V_c = 2$  м/с составляет при подаче порошка П-2АП – 49 м, супертонкодисперсного порошка  $l_T = 108$  м (рис. 8). То есть, подача супертонкодисперсного порошка двумя установками вполне обеспечивает требуемую дальность тушения  $L_T = 88,1$  м.

6. Масса огнетушащего порошка, необходимого для ликвидации пожара:

$$M = 60 \cdot A \cdot \sum_{i=1}^n \tau_T = 60 \cdot 2 \cdot 218 = 26160 \text{ кг}$$

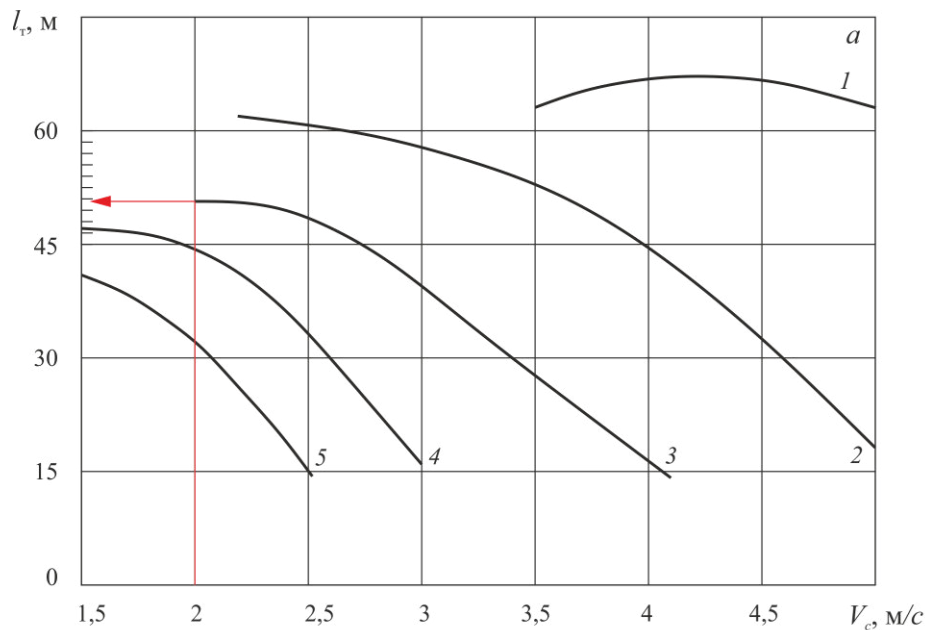


Рис. 8. Дальность эффективного действия двух установок «Вихрь» или одной установки ППУ при подаче порошка П-2АП в выработке с площадью сечения  $S = 9 \text{ м}^2$ .

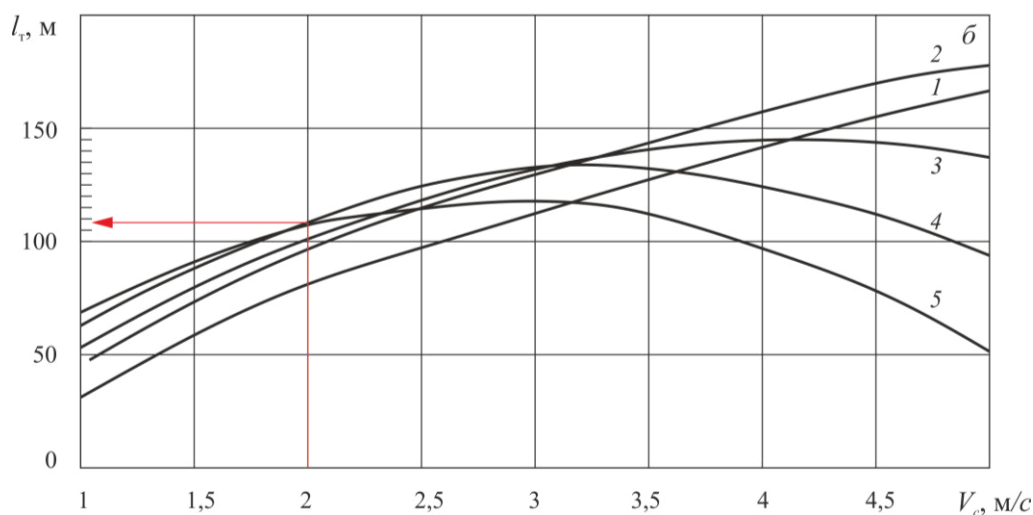


Рис. 9. Дальность эффективного действия двух установок «Вихрь» или одной установки ППУ при подаче порошка супертонкодисперстного в выработке с площадью сечения  $S = 9 \text{ м}^2$

## Практическая работа № 7

### ПАРАМЕТРЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ПЕНОЙ

**Цель:** Ознакомиться с методикой определения параметров дистанционного тушения воздушно-механической пеной в сквозных горизонтальных и наклонных выработках.

Пожаротушащий эффект пены основан на охлаждении горящих материалов и стенок выработки, а также на частичной изоляции зоны горения от доступа воздуха. Технические характеристики и область применения пенных средств пожаротушения приведены в приложении (табл. 1-2).

Воздушно-механическая пена обеспечивает дистанционное объемное воздействие на очаг пожара, способна тушить трудносмачиваемые горючие материалы (угольная пыль и др.) и проникать в труднодоступные места, характеризуется безопасностью ее применения.

Эффективность действия воздушно-механической пены зависит от ее кратности и устойчивости. Различают пену низкой (до 20), средней (21-200) и высокой (более 200) кратности. Максимально допустимая ее кратность для тушения подземных пожаров равна 1000, что соответствует объему  $0,001 \text{ м}^3$  жидкости в  $1 \text{ м}^3$  пены.

Для тушения подземных пожаров применяют пену устойчивостью до 2 ч. Устойчивость зависит от объемной доли пенообразователя в водном растворе, температуры боковых стенок выработки, жесткости воды, скорости движения вентиляционной струи (не более 4 м/с), местных сопротивлений.

Пена электропроводна, поэтому запрещено тушить пеной электрооборудование, которое находится под напряжением.

Пену средней кратности целесообразно применять для тушения пожаров в куполах выработок, электромашинных камерах и тупиковых выработках больших объемов; пену высокой кратности – для быстрого заполнения вертикальных и наклонных выработок большого объема и локализации пожара в горизонтальных выработках длиной 1000-1500 м.

Заполнение выработок пеной вызывает уменьшение расхода воздуха и может привести к прекращению проветривания, поэтому необходимо предусматривать меры по предупреждению образования взрывоопасного скопления горючих газов на аварийном участке. Если во время использования пены объемная доля горючих газов в исходящей струе превышает 2 %, то необходимо прекратить подачу пены, восстановить проветривание и применить другие средства пожаротушения.

При тушении пожара пеной в вертикальных и наклонных выработках целесообразно на ближайшем от очага пожара горизонте возвести полук и засыпать его слоем глины. В проветриваемых выработках, лежащих ниже горизонтов, достаточно возвести дощатые или шлакоблочные перемычки, уплотнив и усилив их стойками.

После заполнения выработки пеной необходимо поддерживать ее объем, периодически включая в работу генератор до полного исчезновения признаков горения.

При пожарах в вертикальных и наклонных выработках пену высокой кратности можно применять при скорости восходящего потока воздуха до 1,0-1,5 м/с, а средней кратности – до 2,0-2,5 м/с.

Если после заполнения выработки пеной до расчетного объема происходит медленное ее разрушение, то необходимо уменьшить объемную долю пенообразователя в водном растворе до 1,5-3,0 %. Это уменьшит устойчивость пены и ускорит охлаждение зоны горения и стенок выработки.

В горизонтальных и пологих выработках пену необходимо применить для тушения пожаров в начальной стадии или при наличии за очагом горения (со стороны исходящей струи) водяной завесы, противопожарного разрыва в крепи и т.д. В этих условиях при скорости воздуха не менее 2 м/с целесообразно применять пеногенератор ПШ. Из-за волнообразного характера движения пены в верхней части выработки могут оставаться тлеющие очаги. Поэтому после 2-3 ч запуска пены необходимо провести разведку и принять меры по окончательному тушению.

После ремонта крепи охлажденной части выработки пеногенератор переносят ближе к зоне горения, наращивают вентиляционные трубы и пожарные рукава, пену снова подают до завершения тушения очагов горения и охлаждения выработки до температуры ниже 40°С.

Для тушения пожаров в электромашинных камерах, куполах, за бетонной крепью и в выработанном пространстве необходимо применять воздушно-механическую пену средней кратности, которую получают за счет энергии напора воды пеногенераторами ПШ, ГВП-600, ГВП-2000. Подавать пену в камеру целесообразно через ходок со стороны свежей струи до заполнения всей камеры.

Во время тушения подземных пожаров в труднодоступных местах с помощью устройства УИП и УПГВ возможно использование жидкого или газообразного азота, а также сжатого воздуха.

При тушении пожаров в вертикальных тупиковых выработках необходимо применять пену высокой или средней кратности. При этом расход воды в 100–500 раз меньше, чем при подтоплении.

При тушении пожаров воздушно-механической пеной в горизонтальных тупиковых выработках газовых шахт испарение жидкой фазы пены вызывает относительное снижение объемной доли кислорода и метана и способствует охлаждению зоны горения, стенок и воздуха в выработке.

Из-за возможности образования воздушных пробок, которые препятствуют движению пенного потока до забоя горизонтальных и пологих выработок, целесообразно подавать пену по вентиляционным трубам.

При высокой температуре в куполах и за крепью выработки и наличии очагов тления в замках деревянной крепи их охлаждают и тушат огнетушителями или водой.

### 1. Определение параметров дистанционного тушения воздушно-механической пеной в сквозных горизонтальных и наклонных выработках

Данная методика позволяет определить:

продолжительность подачи пены в зону горения (продолжительность тушения);

массу пенообразователя, необходимого для полной ликвидации пожара;

дальность эффективного действия пеногенераторной установки.

#### Исходные данные для расчета

$S$  – сечение аварийной выработки, м<sup>2</sup>;

$V$  – скорость вентиляционного потока в выработке, м/с;

$L_n$  – дальность распространения пожара на начало тушения, м;

$T_n$  – температура стенок выработки до возникновения пожара, °С;

$A_n$  – производительность пеногенераторной установки, м<sup>3</sup>/с.

$K$  – кратность применяемой пены;

$\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности, Дж/(м<sup>2</sup>·°С);

$a$  – коэффициент температуропроводности горных пород, м<sup>2</sup>/с.

Вид горючих материалов в выработке, форма крепления.

#### Порядок расчета

1. Определяем необходимую дальность подачи пены (м):

$$L_{\text{дв}} = L_o + L_n \quad (1)$$

где  $L_o$  – расстояние от места установки пеногенератора до места возникновения пожара, м.

$L_n$  – дальность распространения пожара на начало тушения, м.

2. По табл. 3-4 (прил. 1) выбираем пеногенераторную установку, которая может обеспечить необходимую дальность подачи пены  $L_{\text{дв}}$  при заданной площади сечения.

3. По табл. 3-4 (прил. 1), используя промежуточные значения параметров  $L_{\text{дв}}$  определяем время движения пены  $\tau_{\text{дв}}$  (с) и скорость движения пенного потока  $V_n$  (м/с).

4. Определяем среднюю скорость движения пенного потока (м/с):

$$\bar{V} = \frac{L_{\text{дв}}}{\tau_{\text{дв}}} \quad (2)$$

где  $L_{\text{дв}}$  – необходимая дальность подачи пены, м;

$t_{\text{дв}}$  – время движения пены на расстояние  $L_{\text{дв}}$  от пеногенератора, с.

5. По табл. 1 определяем эквивалентный диаметр выработки  $d_{\text{э}}$ , интерполируя ближайшие значения.

6. Определяем интенсивность движения пенного потока  $V_{d\phi}$  на участке длиной  $L_{d\phi}$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ):

$$V_{d\phi} = \bar{V} \cdot d_{\phi} \quad (3)$$

где:  $\bar{V}$  – средняя скорость движения пенного потока, м/с;  
 $d_{\phi}$  – эквивалентный диаметр выработки, м.

Таблица 1

Значение эквивалентного диаметра выработки  $d_{\phi}$  (м)

Площадь сечения выработки, $\text{м}^2$	Форма сечения			
	квадратная	арочная	трапеция	круглая
7,4	2,72	2,83	2,62	3,06
8,9	2,98	3,10	2,87	3,35
9,3	3,05	3,17	2,93	3,43
11,2	3,35	3,48	3,22	3,76
11,6	3,41	3,54	3,27	3,83
12,7	3,56	3,71	3,43	4,00
13,1	3,62	3,76	3,48	4,07

7. По табл. 2 определяем граничные значения температуры стенок выработки  $t_c$ , °С (по соответствующему значению  $V_n$  из п. 3 расчета).

Таблица 2

Граничные значения температуры стенок выработки

Скорость переднего фронта пены $V_n$ , м/с	0,25	0,62	0,74	0,79	0,83	0,88	0,91
Граничная температура, °С	100	200	300	350	400	500	600

8. По скорости вентиляционного потока в выработке определяем температуру стенок выработки в зоне горения  $t_c$ , °С: при  $V < 4$  м/с  $t_c = 800^\circ\text{С}$ , при  $V \geq 4$  м/с  $t_c = 900^\circ\text{С}$ .

9. Определяем коэффициент снижения температуры стенок выработки при ее заполнении пеной:

$$t_{\text{без}} = \frac{t_c' - t_n}{t_c - t_n} \quad (4)$$

где  $t_c'$  – граничная температура стенок выработки, при которой возможно дальнейшее движение пены на расстоянии от пенной установки, °С;

$t_n$  – температура стенок выработки (горных пород) до возникновения пожара, °С (исходные данные);

$t_c$  – температура стенок выработки в зоне горения, °С.

10. По найденным значениям интенсивности движения пенного потока  $V_{d\phi}$  и коэффициента снижения температуры стенок выработки  $t_{\text{без}}$  определяем коэффициент продолжительности заполнения пеной горячей выработки  $\psi$  с помощью номограммы (рис. 1).

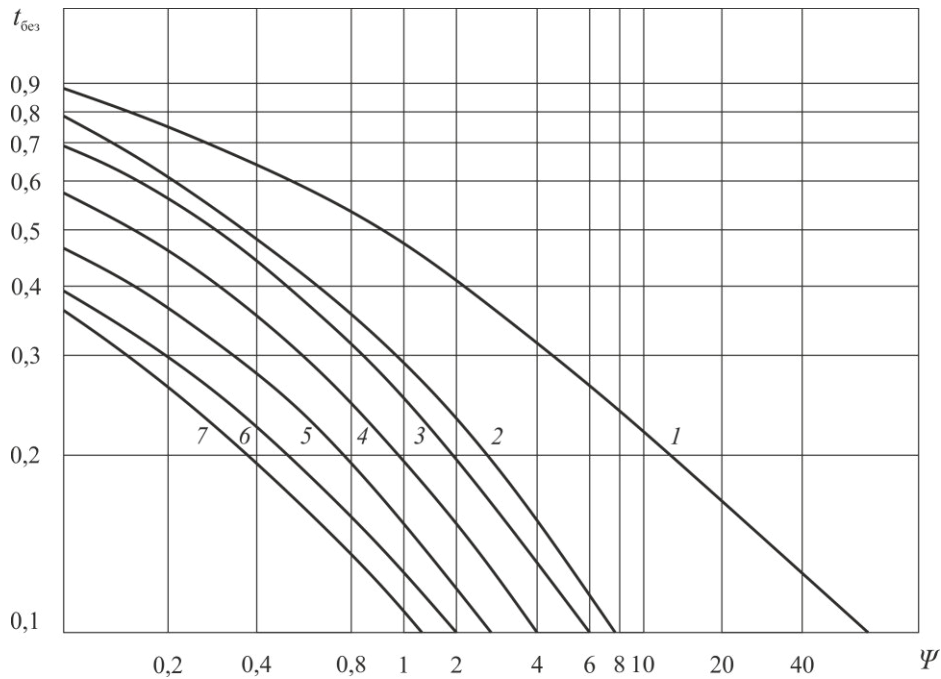


Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента продолжительности заполнения пеной горящей выработки  $\Psi$  при интенсивности движения  $V_{d3}$  пенного потока равной: 1 – 0,00 м<sup>2</sup>/с; 2 – 0,10 м<sup>2</sup>/с; 3 – 0,27 м<sup>2</sup>/с; 4 – 0,60 м<sup>2</sup>/с; 5 – 1,00 м<sup>2</sup>/с; 6 – 1,63 м<sup>2</sup>/с; 7 – 5,44 м<sup>2</sup>/с.

*Порядок пользования номограммой:* из точки, соответствующей рассчитанному значению коэффициента  $t_{без}$ , проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой, соответствующей значению  $V_{d3}$ . От полученной точки проводится прямая вниз и получается искомый коэффициент  $\Psi$ .

11. Определяем эквивалентную продолжительность нагревания стенок выработки  $\tau_{наг}$  действующим в ней пожаром (ч) по табл. 3.

12. Определяем продолжительность заполнения пеной горящей выработки (ч):

$$\tau_3 = \Psi \cdot \tau_{наг} \quad (5)$$

где  $\Psi$  – коэффициент продолжительности заполнения пеной горящей выработки.

$\tau_{наг}$  – эквивалентная продолжительность нагревания стенок выработки действующим пожаром, ч.

13. По номограмме (рис. 2), для значений  $K$  (прил., табл. 1)  $V_n$  и  $d_3$  находим значение коэффициента теплоотдачи от горного массива к пенному потоку  $\alpha$ , Дж/(м<sup>2</sup>/с).

14. Определяем величину коэффициента  $B_i$ :

$$B_i = \frac{\alpha \cdot d_3}{\lambda_n} \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от горного массива к пенному потоку;

$d_3$  – эквивалентный диаметр выработки, м;

$\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности охлаждаемых пород, (для песчаника  $\lambda_n = 2,47$  Дж/(м<sup>2</sup>·°С); для аргиллита и алевролита  $\lambda_n = 1,77$  Дж/(м<sup>2</sup>·°С)).



Таблица 3

Эквивалентная продолжительность нагревания стенок выработки  $t_{наг}$  действующим в ней пожаром (ч)

Вид горючих материалов в выработке	Эквивалентная продолжительность нагревания стенок
	$\tau_{наг}$
Горючая конвейерная лента в выработке с негорючей или трудногорючей крепью	1,0
Горючая конвейерная лента в выработке с горючей затяжкой и негорючей крепью (стойки, верхняки)	1,5-2,0
Горючая затяжка в выработке с негорючей крепью (стойки, верхняки)	3,0-4,0
Горючая крепь (затяжка, стойки, верхняки)	

15. Рассчитываем коэффициент продолжительности нагревания горного массива:

$$F_H = \frac{d_3}{120 \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{наг}}} \quad (7)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности горных пород  $\text{м}^2/\text{с}$ , (для песчаника  $a = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; для аргиллита и алевролита  $a = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ );

$d_3$  – эквивалентный диаметр выработки, м;

$\tau_{наг}$  – эквивалентная продолжительность нагревания стенок выработки действующим пожаром, ч.

16. По номограмме (рис. 3) определяем коэффициент продолжительности охлаждения пеной стенок выработки  $F_{охл}$ , используя для этого найденные значения коэффициентов  $F_H$  и  $B_i$ .

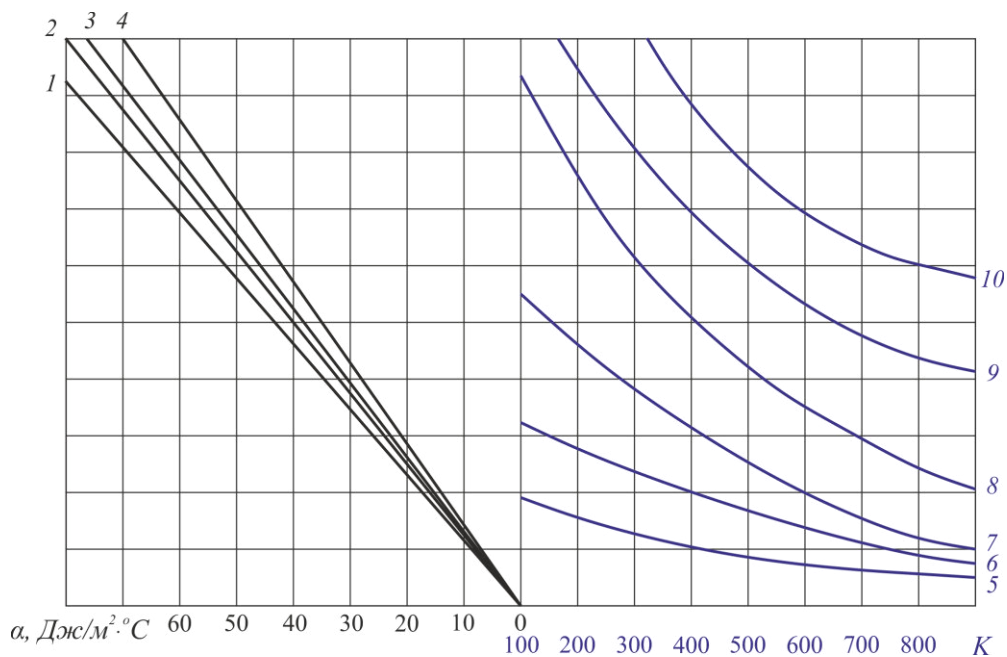


Рис. 2. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи от горного массива к пенному потоку  $\alpha$ . Линии 1-4 соответствуют значениям эквивалентного диаметра  $d_3$

выработки, равным: 1 – 2,0 м; 2 – 2,5 м; 3 – 3,0 м; 4 – 4,0 м. Линии 5-10 соответствуют скорости пенного потока  $V_n$ , равной 5 – 0,05 м/с; 6 – 0,1 м/с; 7 – 0,25 м/с; 8 – 0,5 м/с; 9 – 1,0 м/с 10 – 2,0 м/с.

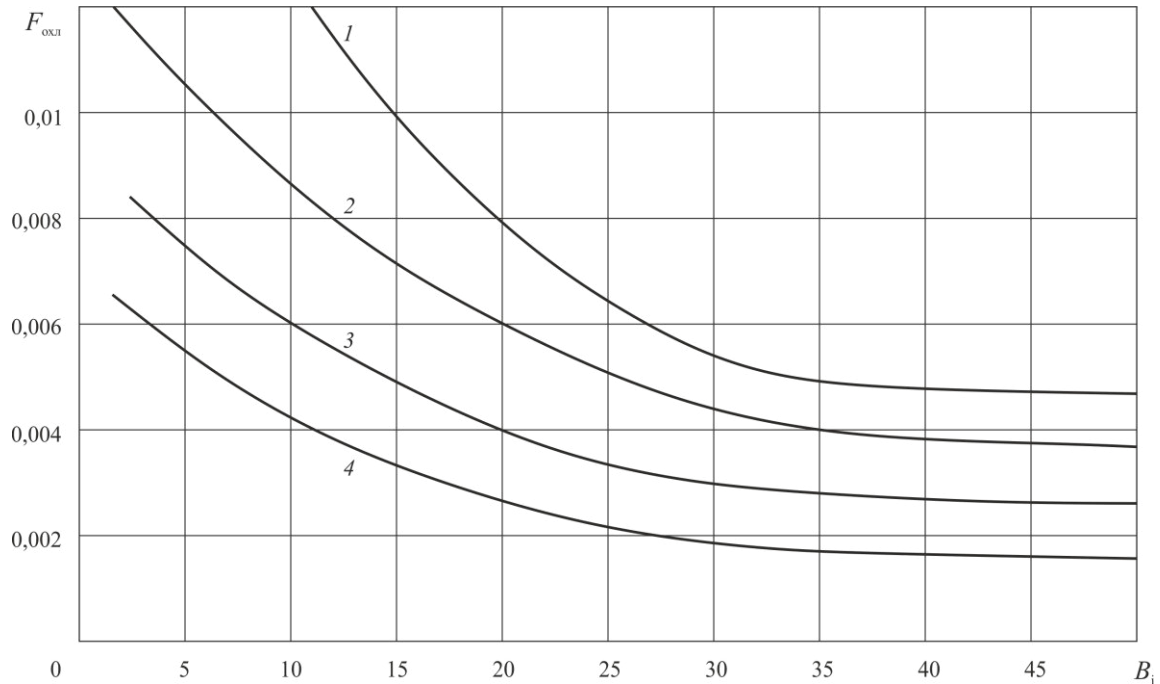


Рис. 3. Номограмма для определения коэффициента продолжительности охлаждения пенной стенки выработки  $F_{охл}$ , при значениях коэффициента продолжительности их нагревания  $F_n$ : 1 – 8; 2 – 12; 3 – 16; 4 – 24.

17. Определяем продолжительность охлаждения пенной стенки выработки (ч):

$$\tau_{охл} = \frac{F_{охл} \cdot d_3^2}{3600 \cdot a} \quad (8)$$

где  $F_{охл}$  – коэффициент продолжительности охлаждения пенной стенки выработки;  
 $a$  – коэффициент температуропроводности горных пород м<sup>2</sup>/с;  
 $d_3$  – эквивалентный диаметр выработки, м.

18. Определяем продолжительность подачи пены в зону горения (ч):

$$\tau_n = \tau_3 + \tau_{охл} \quad (9)$$

где  $t_3$  – продолжительность заполнения пенной горячей выработки, ч;  
 $t_{охл}$  – продолжительность охлаждения пенной стенки выработки, ч.

19. Рассчитываем массу необходимого пенообразователя (т):

$$M_{но} = \frac{180 \cdot A_n \cdot \tau_n}{K} \quad (10)$$

где:  $A_n$  – производительность пеногенераторной установки, м<sup>3</sup>/с (прил., табл. 1);  
 $t_n$  – продолжительность подачи пены в зону горения, ч;  
 $K$  – кратность применяемой пены (прил., табл. 1).

*Пример.* В условиях ПР3.2 определить параметры дистанционного тушения развитого пожара в 6-м южном конвейерном штреке воздушно-механической пеной при следующих исходных данных:  $S = 9 \text{ м}^2$ ;  $V = 2 \text{ м/с}$ ;  $L_n = 36 \text{ м}$ ;  $t_n = 28^\circ\text{С}$ ;  $L_o = 100 \text{ м}$ . Выработка оборудована ленточным конвейером и закреплена смешанной крепью (металлокрепь с полной перетяжкой деревянной затяжкой). Вмещающие породы – песчаники.

*Решение.*

1. Определяем необходимую дальность подачи пены (ф. 1):

$$L_{\text{дв}} = L_o + L_n = 100 + 36 = 136 \text{ м}$$

2. По табл. 3-4 (прил. 1) выбираем пеногенераторную установку, которая может обеспечить необходимую дальность подачи пены  $L_{\text{дв}}$  при заданной площади сечения: ППУ.

3. Согласно выбранной установке ППУ по табл. 4, используя промежуточные значения параметров  $L_{\text{дв}}$  (принимается ближайшее большее значение – 200 м) определяем время движения пены  $\tau_{\text{дв}} = 275 \text{ с}$  и скорость движения пенного потока  $V_n = 0,6 \text{ м/с}$ .

4. Определяем среднюю скорость движения пенного потока (ф. 2):

$$\bar{V} = \frac{L_{\text{дв}}}{\tau_{\text{дв}}} = \frac{200}{275} = 0,73 \text{ м/с}$$

5. По табл. 1 эквивалентный диаметр выработки  $d_3 = 3,1 \text{ м}$ .

6. Определяем интенсивность движения пенного потока  $V_{d_3}$  на участке длиной  $L_{\text{дв}}$  (ф. 3):

$$V_{d_3} = \bar{V} \cdot d_3 = 0,73 \cdot 3,1 = 2,25 \text{ м}^2/\text{с}$$

7. По табл. 2 граничное значение температуры стенок выработки при  $V_n = 0,6 \text{ м/с}$  составляет  $200^\circ\text{С}$ .

8. При скорости вентиляционного потока в выработке  $V < 4 \text{ м/с}$  температура стенок выработки в зоне горения составляет  $800^\circ\text{С}$ .

9. Коэффициент снижения температуры стенок выработки при ее заполнении пеной (ф. 4):

$$t_{\text{без}} = \frac{t_c' - t_n}{t_c - t_n} = \frac{200 - 28}{800 - 28} = 0,22$$

10. По найденным значениям интенсивности движения пенного потока  $V_{d_3} = 2,25 \text{ м}^2/\text{с}$  и коэффициента снижения температуры стенок выработки  $t_{\text{без}} = 0,22$  определяем коэффициент продолжительности заполнения пеной горячей выработки  $\psi = 0,4$  (рис. 4).

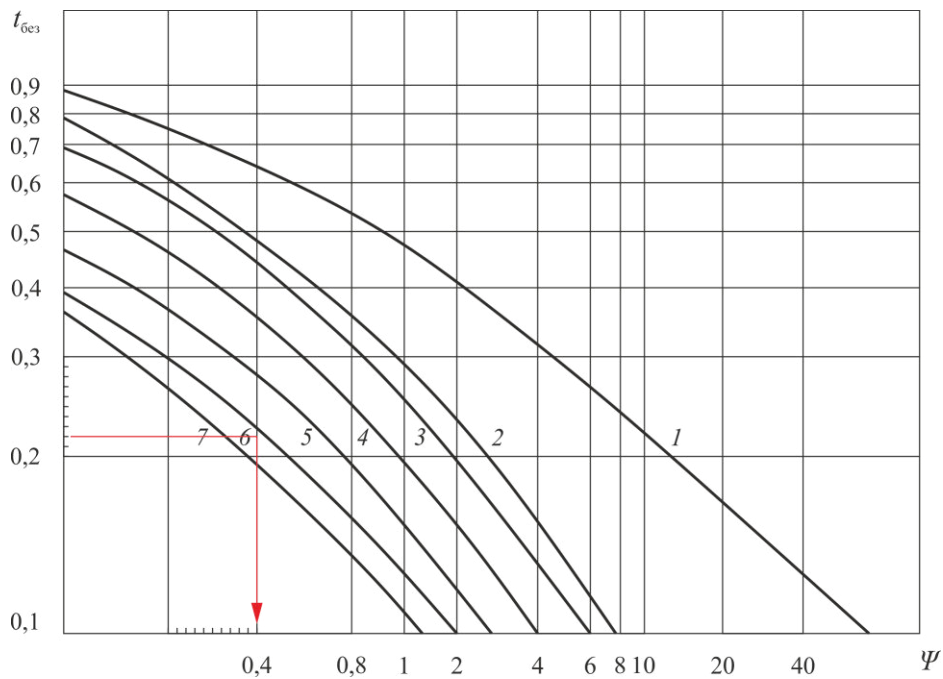


Рис.4. Номограмма для определения коэффициента продолжительности заполнения пеной горячей выработки  $\Psi$  при интенсивности движения  $V_{d_3} = 2,25 \text{ м}^2/\text{с}$ .

11. По табл. 4 определяем эквивалентную продолжительность нагревания стенок выработки  $\tau_{наг}$  действующим в ней пожаром (вид горючих материалов – горючая конвейерная лента в выработке с горючей затяжкой и негорючей крепью (стойки, верхняки):  $\tau_{наг} = 1,5 \text{ ч}$ .

12. Определяем продолжительность заполнения пеной горячей выработки (ф. 5):

$$\tau_3 = \Psi \cdot \tau_{наг} = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ ч}$$

13. По номограмме (рис. 5), для значений  $K = 500$  (прил. 1, табл. 1),  $V_n = 0,6 \text{ м/с}$  и  $d_3 = 3,1 \text{ м}$ , находим значение коэффициента теплоотдачи от горного массива к пенному потоку  $\alpha = 33,7 \text{ Дж}/(\text{м}^2/\text{с})$ .

14. Определяем величину коэффициента  $B_i$  (ф. 6):

$$B_i = \frac{\alpha \cdot d_3}{\lambda_n} = \frac{33,7 \cdot 3,1}{2,47} = 42,3$$

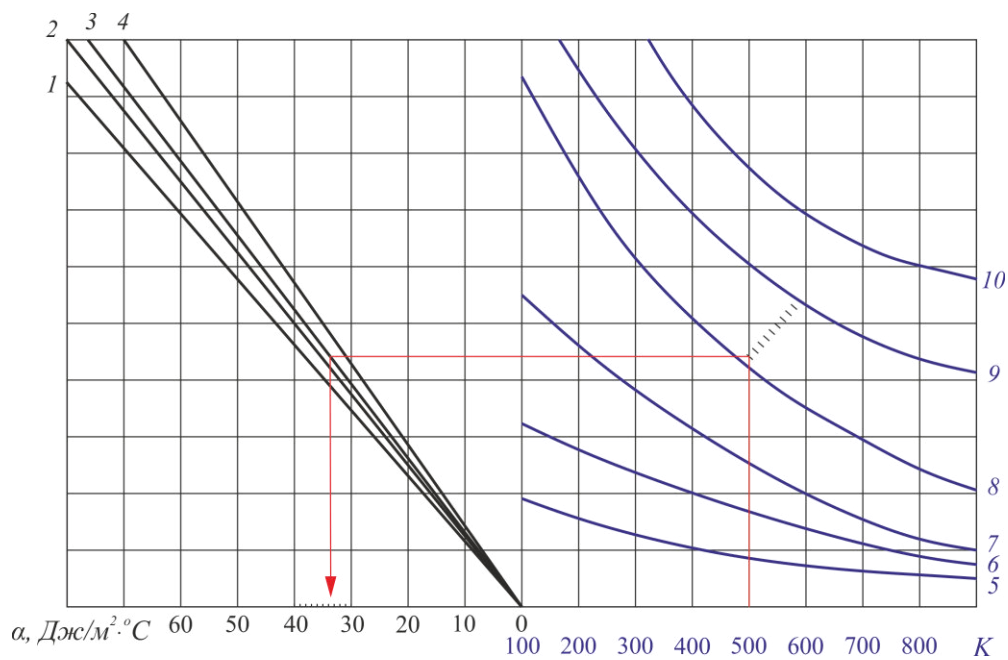


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи от горного массива к пенному потоку  $\alpha$ .

15. Рассчитываем коэффициент продолжительности нагревания горного массива (ф. 7):

$$F_H = \frac{d_s}{120 \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{наг}}} = \frac{3,1}{120 \cdot \sqrt{0,00000121 \cdot 1,5}} = 19,2$$

16. По номограмме (рис. 6), используя для этого найденные значения коэффициентов  $F_H = 19,2$  и  $B_i = 42,3$ , определяем коэффициент продолжительности охлаждения пеной стенок выработки  $F_{охл} = 0,0021$ .

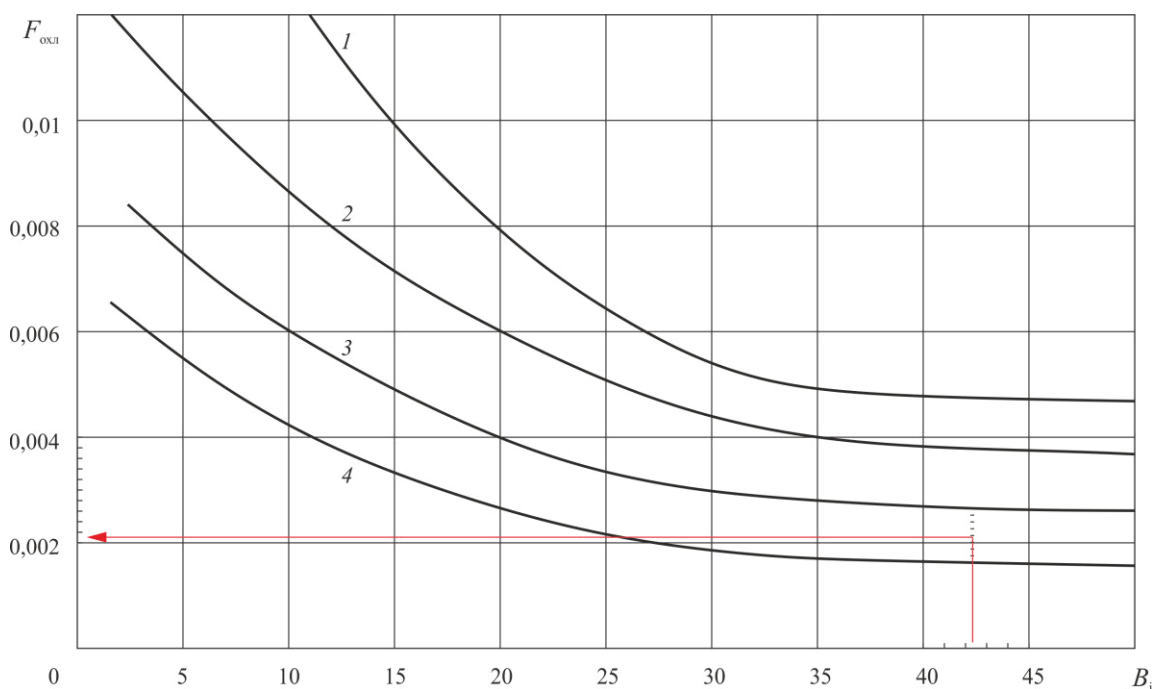


Рис. 6. Номограмма для определения коэффициента продолжительности охлаждения пеной стенок выработки  $F_{охл}$ .

17. Определяем продолжительность охлаждения пеной стенок выработки (ф. 8):

$$\tau_{оох} = \frac{F_{оох} \cdot d_3^2}{3600 \cdot a} = \frac{0,0021 \cdot 3,1^2}{3600 \cdot 0,00000121} = 4,6 \text{ ч}$$

18. Определяем продолжительность подачи пены в зону горения (ф. 9):

$$\tau_n = \tau_3 + \tau_{оох} = 0,6 + 4,6 = 5,2 \text{ ч}$$

19. Рассчитываем массу необходимого пенообразователя (ф. 10):

$$M_{но} = \frac{180 \cdot A_n \cdot \tau_n}{K} = \frac{180 \cdot 9 \cdot 5,2}{500} = 17 \text{ т}$$

### Практическая работа № 8

#### РАСЧЕТ ПОДАЧИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ В ИЗОЛИРОВАННЫЙ УЧАСТОК ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

**Цель:** ознакомиться с методикой расчета параметров подачи инертного газа (парогазовая смесь) в изолированный участок для тушения подземного пожара.

При тушении подземных пожаров для предотвращения взрывов метано-воздушной смеси применяются инертные газы. Наиболее часто используются парогазовая смесь, подаваемая генераторами инертных газов, азот с применением азотных газификационных установок, а также хладон, как флегматизатор.

Технические характеристики генераторов инертных газов и газификационных установок приведены в приложении (табл. 1-2).

Для исключения опасности взрыва горючих газов содержание кислорода в атмосфере участка ( $C_{yч}$ ) не должно превышать 10%, для подавления пламенного горения – 8%, для прекращения тления – 2%

В начальный период инертизации с момента подачи инертного газа в пожарный участок и до момента создания в нем взрывобезопасной среды (объемная доля кислорода менее 10 %) суммарное количество инертного газа и воздуха, поступающих в очаг горения, должно быть не менее минимально допустимого количества воздуха для проветривания по газовому фактору, то есть необходимо выполнять условия (1) и (2):

$$q_{ин} + Q_{вод} \geq Q_m \quad (1)$$

$$C_{ин} \cdot q_{ин} + 21 \cdot Q_{вод} \leq C_{yч} \cdot Q_{мин} \quad (2)$$

где  $q_{ин}$  – количество инертного газа, подаваемого к очагу пожара, м<sup>3</sup>/мин:

$$q_{ин} = k_2 \cdot q_{нз} \quad (3)$$

$k_2$  – коэффициент, учитывающий тип генератора, принимается для генераторов ГИГ-4, ГИГ-1500 – 0,6; ГТ-250 – 0,4;

$q_{нз}$  – количество генерируемой парогазовой смеси, м<sup>3</sup>/мин (прил., табл. 1);

$Q_{вод}$  – суммарное количество воздуха, поступающего к очагу пожара одновременно с инертным газом, м<sup>3</sup>/мин:

$$Q_{вод} = Q_{yt} + Q_s \quad (4)$$

$Q_{ym}$  – приток воздуха через неплотности в изолирующих перемышках, м<sup>3</sup>/мин (практика показала, что утечки удаётся удерживать в пределах от 10 до 30 м<sup>3</sup>/мин);

$Q_v$  – приток воздуха через вентиляционные проемы, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{min}$  – минимально допустимое количество смеси (газа и воздуха) по газовому фактору для проветривания аварийного участка, м<sup>3</sup>/мин:

$$Q_{min} = \frac{Q_1 \cdot C_{max}}{C_q} \quad (5)$$

$Q_1$  – расход воздуха, поступающего на аварийный участок до возведения перемышки, м<sup>3</sup>/с;  
1080

$C_{max}$  – максимальное содержание горючих газов в исходящей струе аварийного участка (находится по данным анализа 10 проб воздуха, отобранных с интервалом 5 минут, %;

$C_q$  – допустимое содержание горючих газов в исходящей струе аварийного участка (2%).

$C_{ин}$  – содержание кислорода в инертном газе, % (прил., табл. 1);

$C_{уч}$  – содержание кислорода в аварийном участке после подачи инертного газа, %.

При объемной инертизации производится замещение воздуха инертной газовой смесью во всем объеме выработок аварийного участка. Подача газа должна быть соизмерима с количеством воздуха, поступавшим в горные выработки при нормальном вентиляционном режиме.

При локальной инертизации инертная смесь подается непосредственно в очаг горения при неизменном состоянии проветривания аварийного участка.

Монтаж генератора инертных газов следует производить в горной выработке, проветриваемой свежей струей воздуха за счет общешахтной депрессии, вблизи сопряжения (рис. 1). Это позволит безопасно размещать топливо, пульт управления, другое оборудование и обеспечит вынос утечек парогазовой смеси вентиляционной струей в смежную выработку. Количество воздуха, проходящего по выработке в месте установки генератора инертных газов, должно обеспечивать охлаждение генератора, отсутствие рециркуляции вентиляционной струи в месте установки генератора и при необходимости подачу расчетного количества воздуха в аварийный участок через вентиляционный проем со стороны свежей струи одновременно с инертным газом  $Q_{од}$ . Расстояние от перемышки до сопряжения, вблизи которого установлен генератор инертных газов, должно обеспечивать возможность (при необходимости) возведения камеры выравнивания давления.

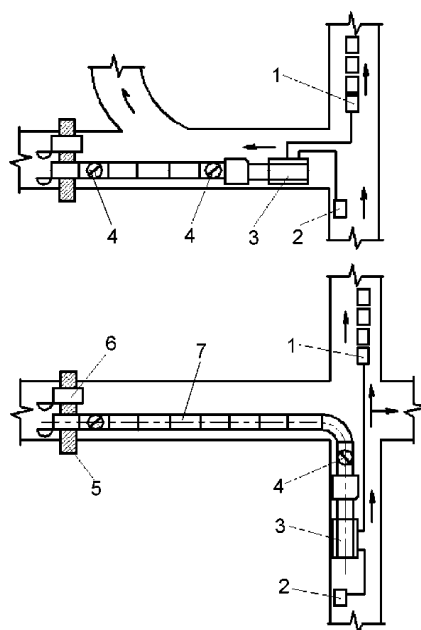


Рис. 1. Типовые схемы расположения генератора инертных газов: 1 – вагонетки с топливом; 2 – пульт управления; 3 – генератор; 4 – возможные места установки шиберов; 5 – взрывоустойчивая перемычка; 6 – вентиляционный проем; 7 – газопровод.

Подачу парогазовой смеси начинают при открытых вентиляционных проемах в перемычке со стороны исходящей струи и в перемычке, через которую будет производиться подача парогазовой смеси.

Проемы в перемычках должны обеспечивать поступление в изолируемый участок расчетного количества воздуха. В большинстве случаев применяются стандартные проемные трубы, если их нет, то один из проемов должен быть размером не менее 0,6х0,7 м (из условия прохода через него в респираторе).

Если количество инертного газа, подаваемое генератором  $Q_{ин}$ , превышает минимальное количество воздуха, которое необходимо подавать на аварийный участок по газовому фактору  $Q_{min}$ , то после выхода генератора на необходимый режим закрывают вентиляционный проем в изоляционной перемычке, установленной со стороны поступающей струи воздуха.

Одновременная подача парогазовой смеси и воздуха через проемы должна продолжаться до тех пор, пока в участке не будет создана взрывобезопасная среда ( $C_{yч} < 10\%$ ). После чего вентиляционный проем в перемычке на поступающей вентиляционной струе закрывают и при целесообразности (на основании анализа сложившихся условий на аварийном участке с учетом параметров работы генератора) продолжают подачу парогазовой смеси с целью дальнейшего снижения в аварийном участке объемной доли кислорода для подавления очагов пламенного горения ( $C_{yч} < 8\%$ ).

#### 1. Расчет параметров подачи парогазовой смеси в изолированный участок для тушения пожара

Методика распространяется на участки, при изоляции которых в изолирующей перемычке в выработке на поступающей струе устроено два проема. К одному проему



подсоединяется генератор инертных газов (ГИГ), а второй проем является вентиляционным. Выпуск газа может производиться при открытом или закрытом вентиляционном проеме.

Методика позволяет определить:

интенсивность и длительность проветривания горных выработок парогазовой смесью для создания взрывобезопасных условий локализации пожара и ускорения его тушения;  
расход топлива для работы генератора в течение времени инертизации;  
продолжительность сохранения инертной среды в заданном пункте после выключения генератора;  
расстояние по ходу движения газа, на котором произойдет охлаждение парогазовой смеси до температуры, не более чем на 20°С превышающей температуру воздуха в выработках при нормальном режиме проветривания.

#### Исходные данные для расчета

$q_{ин}$  – количество инертного газа, подаваемого к очагу пожара, м<sup>3</sup>/мин;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий тип генератора;

$q_{пг}$  – количество генерируемой парогазовой смеси, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{вд}$  – суммарное количество воздуха, поступающего к очагу пожара одновременно с инертным газом, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{ум}$  – приток воздуха через неплотности в изолирующих перемычках, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_в$  – приток воздуха через вентиляционные проемы, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{min}$  – минимально допустимое количество смеси (газа и воздуха) по газовому фактору для проветривания аварийного участка, м<sup>3</sup>/мин;

$C_{ин}$  – содержание кислорода в инертном газе, %;

$C_{уч}$  – содержание кислорода в аварийном участке после подачи инертного газа, %.

$L$  – общая длина проветриваемых выработок участка по ходу движения парогазовой смеси, м;

$l_1, l_2 \dots l_n$  – длина проветриваемых выработок участка, м;

$S_1, S_2 \dots S_n$  – площадь поперечного сечения проветриваемых выработок участка, м<sup>2</sup>;

$П_1, П_2 \dots П_n$  – периметры выработок, по которым движется парогазовая смесь, м;

$n$  – число генераторов;

$m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$l_л$  – длина лавы, м;

$X_r$  – протяженность зоны распространения утечек воздуха через выработанное пространство, считая от лавы, м;

$\alpha$  – коэффициент, характеризующий воздухопроницаемость выработанного пространства, м<sup>-1</sup>;

$\xi$  – паспортный расход топлива для генератора, кг/ч.

#### **Порядок расчета**

Проемы в перемычках должны обеспечивать поступление в изолируемый участок расчетного количества воздуха  $Q$ . В большинстве случаев применяются стандартные проемные трубы, если их нет, то один из проемов должен быть размером не менее 0,6x0,7 м (из условия прохода через него в респираторе).

1. Для определения времени непрерывной работы генераторов при создании взрывобезопасной атмосферы на аварийном участке предварительно вычисляется эффективная скорость движения парогазовой смеси по выработкам, (м/с):

$$V = \frac{L \cdot (0,6 \cdot n \cdot q_{nz} + Q_{\text{вод}})}{60 \cdot (l_1 \cdot S_1 + l_2 \cdot S_2 + \dots + l_n \cdot S_n)} \quad (6)$$

где  $L$  – общая длина проветриваемых выработок участка по ходу движения парогазовой смеси, м ( $L = l_1 + l_2 + \dots + l_n$ ) (определяется по схеме выемочного участка);

$l_1, l_2, \dots, l_n$  – длина проветриваемых выработок участка, м;

$S_1, S_2, \dots, S_n$  – площадь поперечного сечения проветриваемых выработок участка, м<sup>2</sup>;

$n$  – число генераторов;

$q_{nz}$  – паспортная подача одного генератора, м<sup>3</sup>/мин (берется из технической характеристики ГИГ, (прил., табл. 1)).

2. По значениям  $L$  и  $V$  определяется время  $\tau_u$ , в течение которого в проветриваемых выработках посредством подачи парогазовой смеси будет создана взрывобезопасная среда с объемной долей кислорода  $C_{yч} < 10\%$  по номограмме (рис. 2).

По истечении этого времени инертизация участка должна производиться с выпуском парогазовой смеси при закрытом вентиляционном проеме в перемышке на поступающей струе, т.е. без подачи свежего воздуха через вентиляционный проем.

3. Общее время непрерывной работы генераторов для создания взрывобезопасной атмосферы на аварийном участке определяется по формуле:

$$\tau_u^{\text{общ}} = \tau_u + \frac{3,37 \cdot m \cdot \sqrt{l_n^2 + X_r^2}}{\alpha \cdot (0,6 \cdot n \cdot q_{nz} + Q_{ym})} \quad (7)$$

где  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$l_n$  – длина лавы, м (определяется по схеме выемочного участка);

$Q_{ym}$  – утечки воздуха через перемышку на поступающей струе при закрытом вентиляционном проеме, м<sup>3</sup>/мин; (практика показала, что утечки удаётся удерживать в пределах от 10 до 30 м<sup>3</sup>/мин);

$X_r$  – протяженность зоны распространения утечек воздуха через выработанное пространство, считая от лавы, м (прил., табл. 3);

$\alpha$  – коэффициент, характеризующий воздухопроницаемость выработанного пространства, м<sup>-1</sup>; (прил., табл. 3).

4. В случае если в сложившихся условиях аварийного участка с учетом параметров работы генератора целесообразно продолжить работы по дальнейшему снижению объемной доли кислорода для подавления пламенного горения, время работы генератора, в течение которого в проветриваемых выработках будет создана среда, обеспечивающая подавление пламенного горения ( $C_{yч} < 8\%$ ), определяют по формуле:

$$\tau_n = 1,5 \cdot \tau_u \quad (8)$$

Тогда общее время, мин, инертизации в случае, если целью инертизации является подавление пламенного горения:

$$\tau_{u+n}^{общ} = \tau_u^{общ} + \tau_n \quad (9)$$

4. Расход топлива (кг) для работы генераторов вычисляется по формуле:

$$q_c = 0,017 \cdot \zeta \cdot n \cdot \tau \quad (10)$$

где  $\zeta$  – паспортный расход топлива для генератора, кг/ч (прил., табл. 1);

$n$  – число генераторов;

$\tau$  – длительности работы генератора, мин.

5. Продолжительность сохранения инертной среды в заданном пункте участка после выключения генераторов, мин:

$$\tau_c = \frac{(l_1 \cdot S_1 + l_2 \cdot S_2 + \dots + l_n \cdot S_n)}{Q_{yt}} \quad (11)$$

6. Ориентировочное расстояние по ходу движения парогазовой смеси (м), на котором ее температура будет превышать температуру воздуха при нормальном режиме проветривания не более чем на 20°C, определяется по формуле:

$$L_1 = 22 \cdot \frac{n \cdot q_{nz}}{\Pi} \quad (12)$$

где  $\Pi$  – средневзвешенный периметр выработок, по которым движется парогазовая смесь, м:

$$\Pi = \frac{(l_1 \cdot \Pi_1 + l_2 \cdot \Pi_2 + \dots + l_n \cdot \Pi_n)}{L} \quad (13)$$

где  $\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_n$  – периметры выработок, по которым движется парогазовая смесь, м.

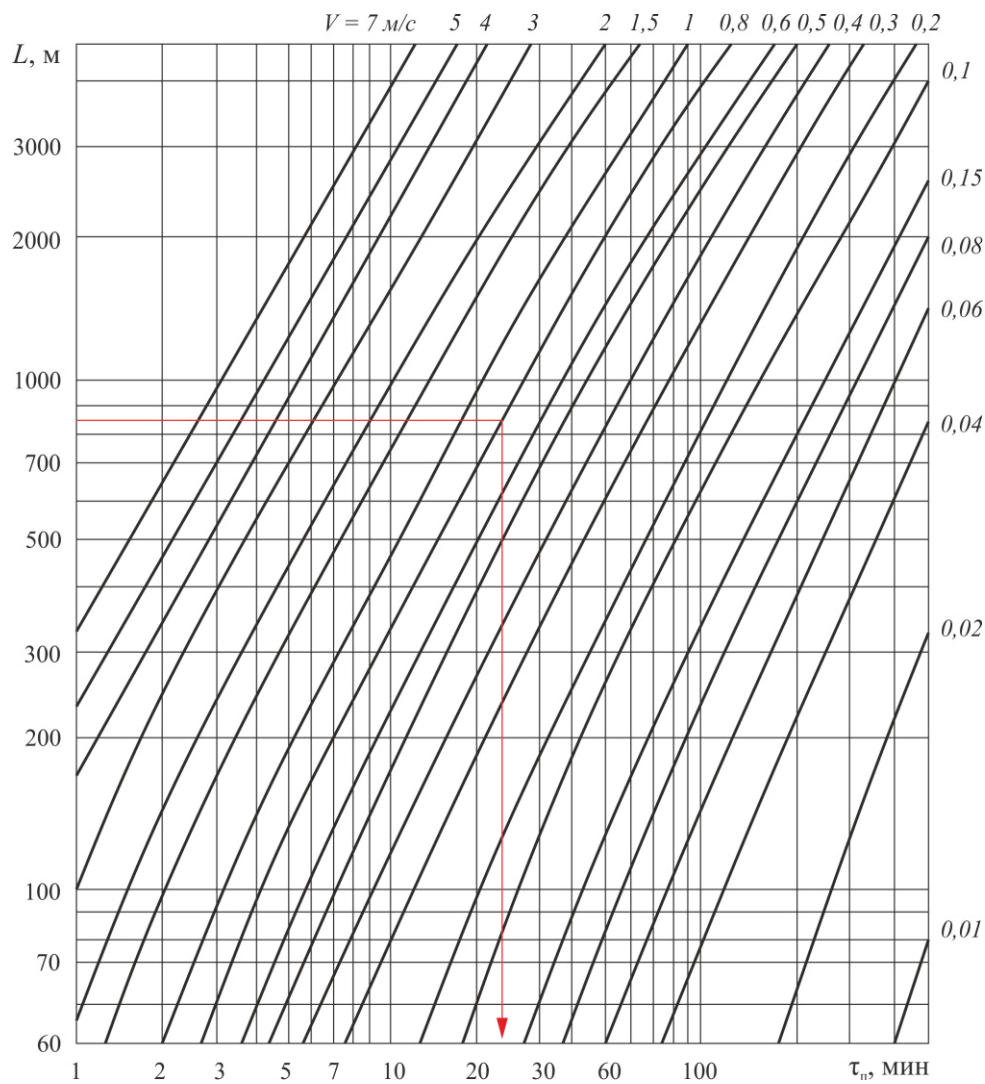


Рис. 2. Номограмма для определения времени инертизации проветриваемых выработок парогазовой смесью

7. Требуемая подача парогазовой смеси, тип и количество необходимых для ее обеспечения генераторов инертного газа определяются по номограмме (рис. 3).

*Правила пользования номограммой:* из точки на оси ординат, соответствующее расчетному значению  $Q$ , проводится горизонтальная линия (параллельно оси абсцисс). Если эта линия не пересекает наклонные прямые 1, 2, 3, обозначающие дополнительное количество воздуха  $Q_{вд}$ , которое необходимо подавать через вентиляционный проем в перемычке при работе генератора инертных газов, то инертизация участка должна производиться при закрытом вентиляционном проеме в перемычке, установленной на свежей струе посредством: одного ГИГ-4 при  $Q < 200$  м<sup>3</sup>/мин; двух ГИГ-4 при  $Q < 400$  м<sup>3</sup>/мин; одного ГИГ-1500 при  $Q < 900$  м<sup>3</sup>/мин.

В последнем случае для определения производительности генератора ГИГ-1500 необходимо опустить перпендикуляр на ось абсцисс из точки пересечения горизонтальной линии  $Q$  с наклонной 3.

Если линия  $Q$  пересекает какую-либо из наклонных (1, 2, 3) прямых, то парогазовая смесь должна подаваться при открытом вентиляционном проеме. Количество воздуха, которое должно поступать в участок через вентиляционный проем, соответствует значению  $Q_{вд}$  в точке пересечения линий  $Q$  и одной из наклонных прямых 1, 2, 3 (точка А).

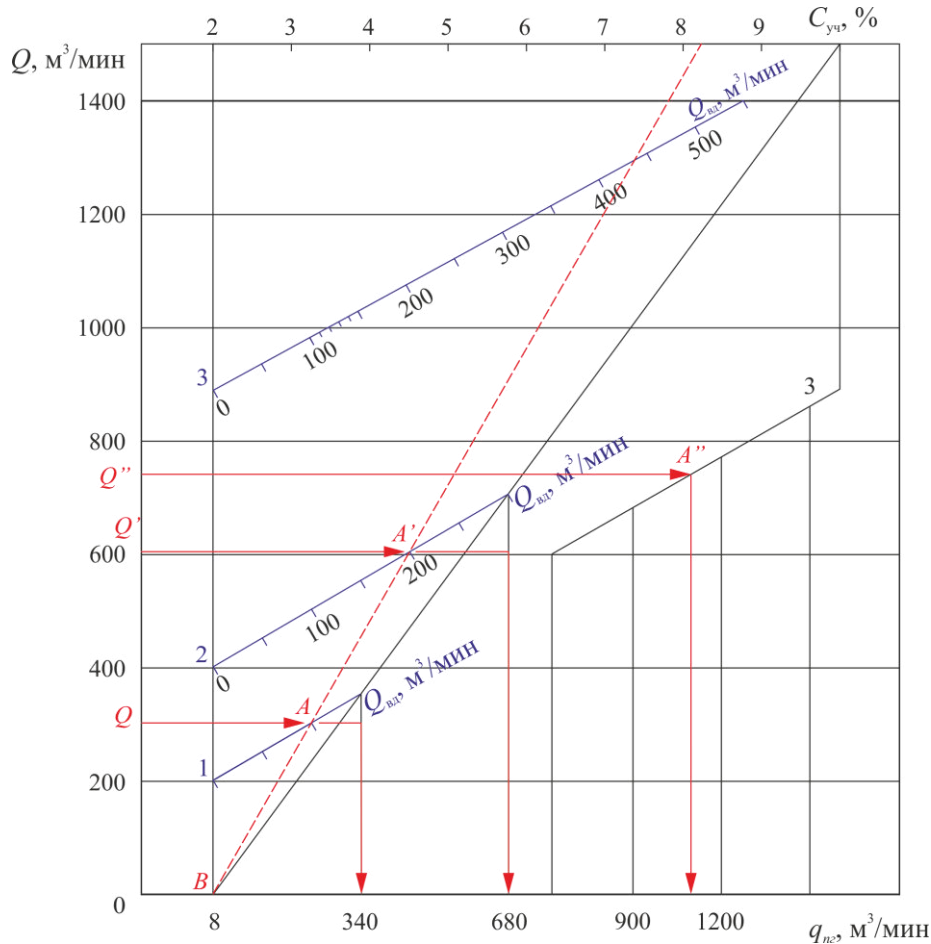


Рис. 3. Номограмма для определения типа и числа генераторов инертного газа, их производительности, количества дополнительного воздуха, содержания кислорода в смеси газов; 1 – генератор ГИГ-4; 2 – два генератора ГИГ-4; 3 – генератор ГИГ-1500.

Концентрация кислорода в изолированном участке перед закрытием проема определяется по этой же номограмме, для чего через точку В на оси абсцисс  $q_{нг}$  и полученную на одной из прямых 1, 2, 3 точку для определения  $Q_{вд}$  (точка А) проводится прямая до пересечения с верхней горизонтальной осью  $C_{уч}$ .

**Пример.** Произвести расчет параметров тушения пожара с применением генератора инертных газов на выемочном участке (рис. 3) при следующих исходных данных:

$$C_{max} = 0,56\%; C_q = 2\%.$$

Параметры выработок:

$$\text{конвейерный штрек: } S = 9 \text{ м}^2; P = 11,4 \text{ м}^2; L = 325 \text{ м};$$

$$\text{вентиляционный штрек: } S = 9 \text{ м}^2; P = 11,4 \text{ м}^2; L = 360 \text{ м};$$

$$\text{обводная выработка: } S = 9 \text{ м}^2; P = 11,4 \text{ м}^2; L = 275 \text{ м};$$

$$\text{лава: } m = 0,7 \text{ м}; S = 6 \text{ м}^2; P = 10,2 \text{ м}^2; L_n = 275 \text{ м}.$$

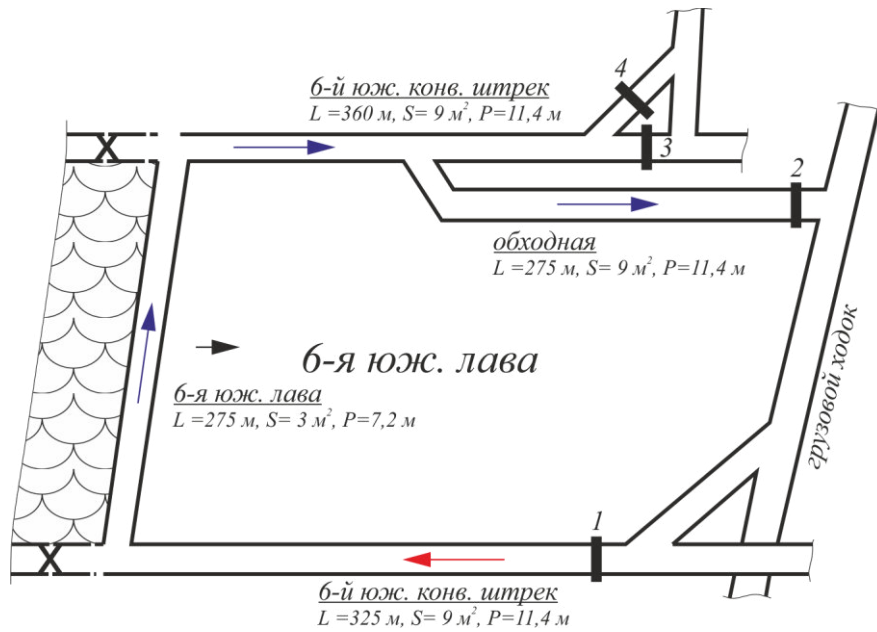


Рис. 4. Схема аварийного выемочного участка

**Решение.**

1. Минимально допустимое количество смеси (газа и воздуха) по газовому фактору для проветривания аварийного участка, м<sup>3</sup>/мин (ф. 5):

$$Q_{\min} = \frac{Q_1 \cdot C_{\max}}{C_q} = \frac{1080 \cdot 0,56}{2} = 302 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. По номограмме (рис. 5) количество дополнительного воздуха составит  $Q_{\text{вд}} = 99,7 \text{ м}^3/\text{мин} \rightarrow 100 \text{ м}^3/\text{мин}$ ; содержание кислорода в аварийном участке после подачи инертного газа  $C_{\text{уч}} = 8 \%$ .

1. Эффективная скорость движения парогазовой смеси по выработкам (ф. 6):

$$V = \frac{L \cdot (0,6 \cdot n \cdot q_{\text{нз}} + Q_{\text{вд}})}{60 \cdot (l_1 \cdot S_1 + l_2 \cdot S_2 + \dots + l_n \cdot S_n)} = \frac{1235 \cdot (0,6 \cdot 1 \cdot 340 + 100)}{60 \cdot (325 \cdot 9 + 275 \cdot 6 + 360 \cdot 9 + 275 \cdot 9)} = 0,6 \text{ м/с}$$

2. По номограмме (рис. 6) при  $L = 1235 \text{ м}$  и  $V = 0,6 \text{ м/с}$  время заполнения выработок парогазовой смесью составит 13,5 мин.

3. Общее время непрерывной работы генераторов для создания взрывобезопасной атмосферы на аварийном участке (ф. 7):

$$\tau_u^{\text{общ}} = \tau_u + \frac{3,37 \cdot m \cdot \sqrt{l_l^2 + X_r^2}}{\alpha \cdot (0,6 \cdot n \cdot q_{\text{нз}} + Q_{\text{ум}})} = 13,5 + \frac{3,37 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{275^2 + 20^2}}{0,03 \cdot (0,6 \cdot 1 \cdot 340 + 20)} = 110,6 \text{ мин}$$

4. Время работы генератора, в течение которого в проветриваемых выработках будет создана среда, обеспечивающая подавление пламенного горения ( $C_{\text{уч}} < 8\%$ ) (ф. 8):

$$\tau_n = 1,5 \cdot \tau_u = 1,5 \cdot 13,5 = 20,3 \text{ мин.}$$

В этом случае общее время инертизации составит (ф. 9):

$$\tau_{u+n}^{\text{общ}} = \tau_u^{\text{общ}} + \tau_n = 110,6 + 20,3 = 130,9 \rightarrow 131 \text{ мин}$$

5. Расход топлива для работы генераторов составит (ф. 10):

инертизация для создания взрывобезопасной атмосферы

$$q_z^u = 0,017 \cdot \zeta \cdot n \cdot \tau_u^{общ} = 0,017 \cdot 1040 \cdot 1 \cdot 110,6 = 1955,4 \text{ кг}$$

инертизация для подавления пламенного горения

$$q_z^n = 0,017 \cdot \zeta \cdot n \cdot \tau_{u+n}^{общ} = 0,017 \cdot 1040 \cdot 1 \cdot 131 = 2316,1 \text{ кг}$$

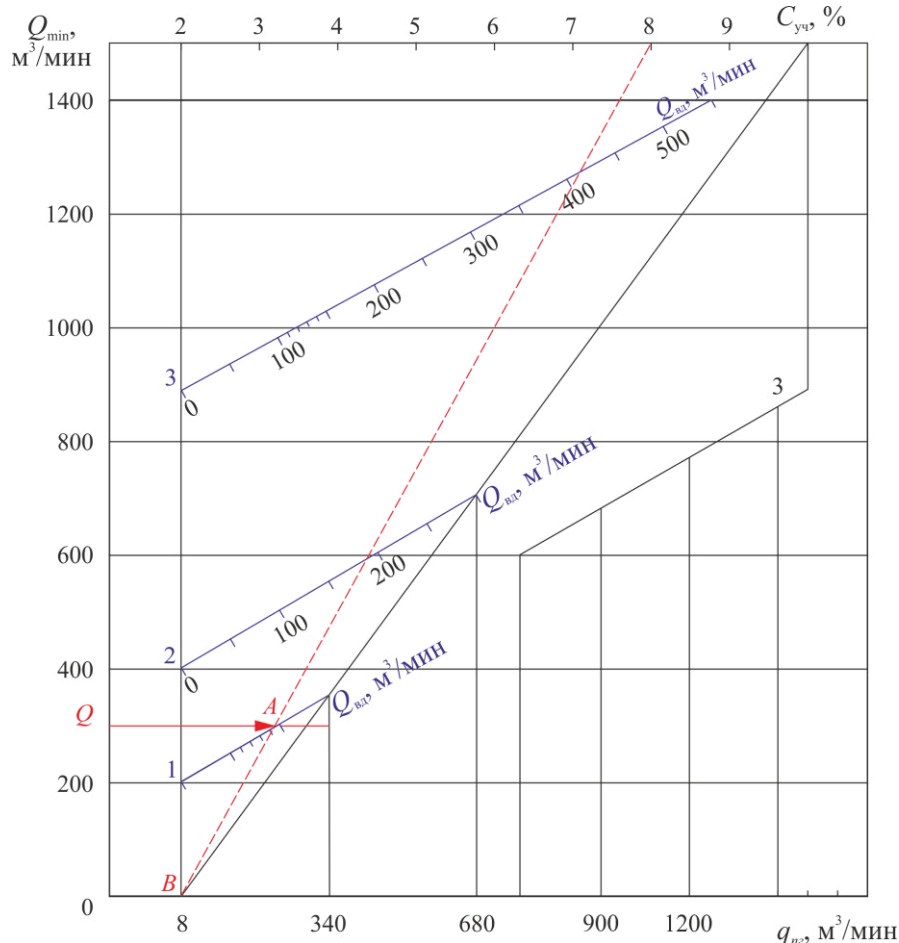


Рис. 5. Номограмма для определения типа и числа генераторов инертного газа, их производительности, количества дополнительного воздуха, содержания кислорода в смеси газов; 1 – генератор ГИГ-4; 2 – два генератора ГИГ-4; 3 – генератор ГИГ-1500.

Продолжительность сохранения инертной среды в заданном пункте участка после выключения генераторов (ф. 11):

$$\tau_{ин} = \frac{(l_1 \cdot S_1 + l_2 \cdot S_2 + \dots + l_n \cdot S_n)}{Q_{ум}} = \frac{(325 \cdot 9 + 275 \cdot 3 + 360 \cdot 9 + 275 \cdot 9)}{20} = 473,3 \text{ мин (7,9 ч)}$$

5. Ориентировочное расстояние по ходу движения парогазовой смеси, на котором ее температура будет превышать температуру воздуха при нормальном режиме проветривания не более чем на 20°C (ф. 12-13):

$$П = \frac{(l_1 \cdot \Pi_1 + l_2 \cdot \Pi_2 + \dots + l_n \cdot \Pi_n)}{L} = \frac{(325 \cdot 11,4 + 275 \cdot 10,2 + 360 \cdot 11,4 + 275 \cdot 11,4)}{1235} = 10,5 \text{ м}$$

$$L_1 = 22 \cdot \frac{n \cdot q_{nz}}{\Pi} = 22 \cdot \frac{1 \cdot 340}{10,5} = 712,4 \text{ м}$$

6. Проверка условий инертизации (ф. 1-3):

$$q_{ин} + Q_{вд} \geq Q_{мин} \rightarrow 204 + 100 \geq 302 \rightarrow 304 > 302$$

$$C_{ин} \cdot q_{ин} + 21 \cdot Q_{вд} \leq C_{уч} \cdot Q_{мин} \rightarrow 2 \cdot 204 + 21 \cdot 100 \leq 8 \cdot 302 \rightarrow 2508 > 2416 \text{ при } C_{ин} = 2\%$$

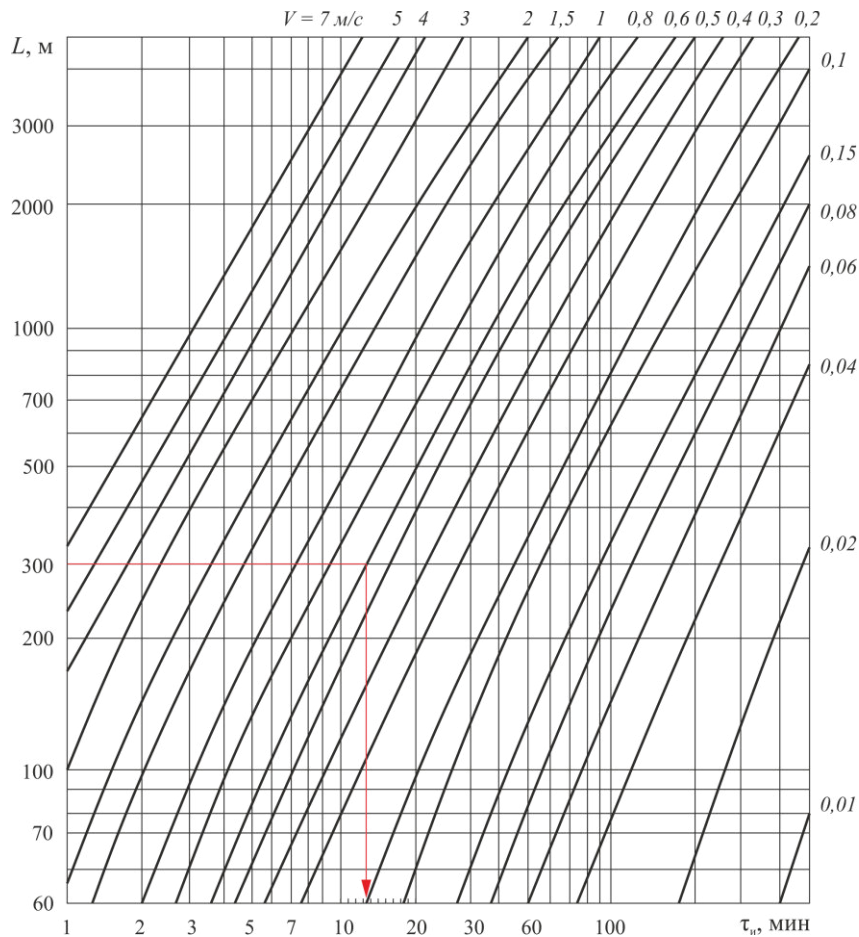


Рис. 6. Номограмма для определения времени инертизации проветриваемых выработок парогазовой смесью



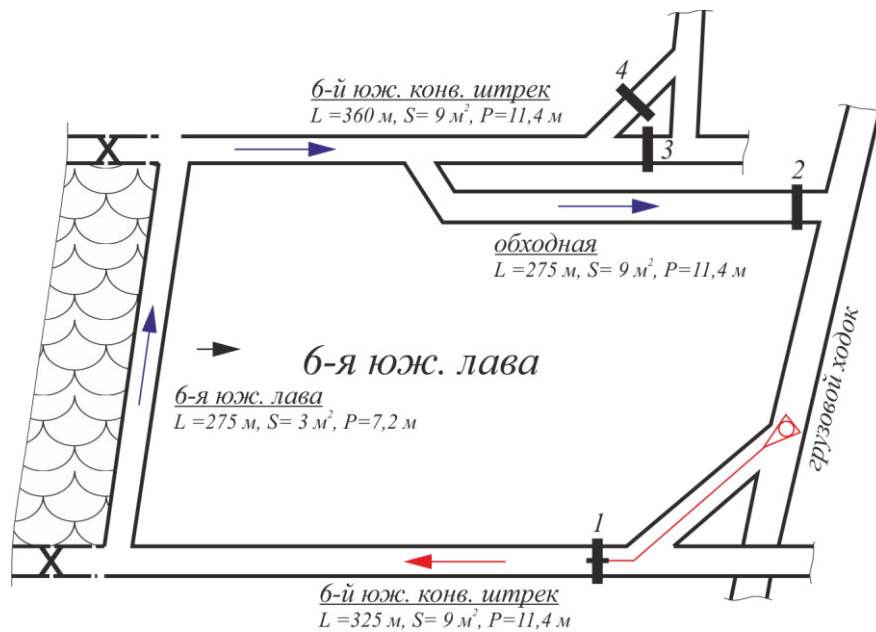


Рис. 7. Схема инертизации изолированного аварийного участка

## 2. Расчет подачи азота в горные выработки

Расчет составлен для случая выпуска азота со стороны поступающей в пожарный участок вентиляционной струи. Расстояние от места выпуска азота до очага пожара не должно превышать 1000 м.

### Исходные данные для расчета

$Q$  – расход воздуха, поступающего на участок в нормальном режиме проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$C$  – концентрация метана в исходящей из участка струе воздуха в нормальном режиме проветривания, %;

$L$  – общая длина выработок аварийного участка, заполняемых азотом, м;

$S$  – средняя площадь сечения выработок, м<sup>2</sup>.

### **Порядок расчета**

1. Определяется расход азота (м<sup>3</sup>/мин), необходимый для создания взрывобезопасной среды:

$$q_1 = \frac{C \cdot Q}{10 - C} \quad (22)$$

2. Определяется расход азота (м<sup>3</sup>/мин) необходимый для инертизации атмосферы всего участка:

$$q_2 = 0,03 \cdot L \cdot \sqrt{S} \quad (23)$$

3. Выбирается из двух расчетных значений расхода азота максимальное значение:

$$q = \max(q_1; q_2) \quad (24)$$

4. Находится время (мин) заполнения выработок участка азотом:

$$t = \frac{S \cdot (260 + 0,84)}{q} \quad (25)$$

5. Определяется общее количество газообразного азота ( $\text{м}^3$ ), которое необходимо выпустить в аварийный участок:

$$q_z = q \cdot t \quad (26)$$

6. Количество жидкого азота  $q_{жс}$  (кг) при известном расходе газообразного  $q_z$  ( $\text{м}^3$ ) определяется по формуле:

$$q_{жс} = 1,2 \cdot K \cdot q_z \quad (27)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий потери азота при транспортировании, хранении и подаче по шахтным трубопроводам, принимается  $K=1,5$ .

**Пример.** Рассчитать подачу азота в аварийный участок при следующих исходных данных:  $Q = 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $C = 0,9\%$ ;  $L = 1235 \text{ м}$ ;  $S = 7,5 \text{ м}^2$  (см. геометрические параметры горных выработок в предыдущем примере).

**Решение.**

1. Расход азота, необходимый для создания взрывобезопасной среды:

$$q_1 = \frac{C \cdot Q}{10 - C} = \frac{0,9 \cdot 1080}{10 - 0,9} = 106,8 \text{ м}^3/\text{мин}$$

2. Расход азота ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ) необходимый для инертизации атмосферы всего участка:

$$q_2 = 0,03 \cdot L \cdot \sqrt{S} = 0,03 \cdot 1235 \cdot \sqrt{7,5} = 101,5 \text{ м}^3/\text{мин}$$

3. Максимальное расчетное значение расхода азота:

$$q = \max(q_1; q_2) = \max(106,8; 101,5) = 106,8 \text{ м}^3/\text{мин}$$

4. Время заполнения выработок участка азотом составит:

$$t = \frac{S \cdot (260 + 0,84)}{q} = \frac{7,5 \cdot (260 + 0,84)}{106,8} = 18,3 \text{ мин}$$

5. Общее количество газообразного азота, которое необходимо выпустить в аварийный участок:

$$q_e = q \cdot t = 106,8 \cdot 18,3 = 1954,4 \text{ м}^3$$

6. Количество жидкого азота составит:

$$q_{жк} = 1,2 \cdot K \cdot q_e = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1954,4 = 3518 \text{ кг}$$

## Приложение

Таблица 1

Тактико-технические возможности средств инертзации атмосферы

Показатели	Тип генератора			
	ГИГ-1500	ГИГ-4	ГТ-250	МГТ-20
Подача, м <sup>3</sup> /мин;	900-1500	340	250-300	50-80
Содержание O <sub>2</sub> , % об.	2-3	2	1-2	2-3
Напор, кПа (кгс/см <sup>2</sup> );	12 (0,12)	12 (0,12)	8 (0,08)	100
Температура парогазовой смеси, °С;	80-90	80-90	80-90	(1,0)
Расход топлива, л/ч;	1560-4000	1040	430-520	80-90
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч;	50	27	14	90-140
Напряжение питания, В	24	24	24	6
Габаритные размеры в сборе, мм:				24
длина	12000	6500	3500	
ширина	1200	800	800	2200
высота	1200	900	900	800
Масса, кг	1500	600	250	900
				80

Таблица 2

Основные технические характеристики азотных газификационных установок

Показатель	АГУ-2м	АГУ-8к	ПГХКА-1,0-0,9/1,6
Подача газа, м <sup>3</sup> /мин;	6,3	6,3	15,0
Масса жидкого азота (возимая), кг;	1400	4200	740
Давление газа, МПа (кг/см <sup>2</sup> );	21,5 (215)	21,5 (215)	1,6 (16)
Масса, кг	7325	15100	3500

Таблица 3

Коэффициент, характеризующий воздухопроницаемость выработанного пространства

Схема проветривания	$X_r$	$\alpha$
Возвраточная с направлением исходящей струи на массив угля при управлении кровлей: полным обрушением или плавным опусканием	20	0,030

частичной или полной закладкой	20	0,024
Возвратноточная с направлением исходящей струи на выработанное пространство с возведением между выработками и выработанным пространством:		
костров	67	0,035
бутокостров	81	0,024
бутовой полосы или целика с окнами	58	0,024
бутовой полосы	63	0,019
бутовой полосы и чураковой стенки	60	0,017

## Практическая работа № 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЙ ДЕПРЕССИИ И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТРУЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТКАХ

**Цель:** ознакомиться с методикой определения тепловой депрессии в аварийных выработках и расчета устойчивости вентиляционных струй в и наклонных выработках в условиях подземного пожара.

Устойчивость проветривания – способность вентиляционной сети сохранять заданные расходы и направления движения воздуха в ветвях, при изменении аэродинамических параметров отдельных элементов сети.

На практике различают два вида неустойчивости проветривания: неустойчивость по расходу воздуха и неустойчивость по направлению его движения.

Первый вид – это изменение во времени количества воздуха, проходящего по отдельным элементам шахтной сети, без изменения направления.

Неустойчивость по расходу воздуха характерна для всех элементов сети, т.е. с течением времени расход воздуха в выработках не остается постоянным, а изменяется из-за изменения аэродинамических характеристик горных выработок. На газовых шахтах в тупиковых выработках и очистных забоях это может привести к снижению расхода воздуха ниже расчетного количества и заполнению выработок метаном.

Второй вид неустойчивости – это изменение направления движения воздуха («опрокидывание») в отдельных выработках (частях) шахты. Неустойчивость по направлению характерна для ветвей-диагоналей.

В основе этих явлений лежат одни и те же причины: изменение депрессии, вызванное изменением режима работы вентиляторов главного проветривания (ВГП) (изменения угла установки лопаток), появлением или исчезновением отдельных источников тяги (действие тепловой депрессии пожара, внезапный выброс, включение или отключение ВГП) и изменением сопротивления отдельных частей шахты (закорачивание вентиляционной струи, обрушение пород, подтопление выработок и т.д.).

При пожаре в наклонной выработке опрокидывание происходит за счет действия тепловой депрессии пожара. Тепловая депрессия возникает за счет разности плотностей воздуха в аварийной выработке и в параллельных ей наклонных выработках. При пожаре в наклонной выработке с нисходящим проветриванием существует угроза опрокидывания вентиляционной струи в самой наклонной выработке, а при пожаре в выработке с

восходящим проветриванием – может опрокинуться вентиляционная струя в параллельной выработке с со-направленным движением воздуха или в выработках, примыкающим к аварийной выработке выше очага пожара. В случае такой угрозы предусматриваются специальные мероприятия в плане ликвидации аварий.

Контроль устойчивости проветривания и предупреждение нарушений устойчивости – залог нормального функционирования шахты. Если схема проветривания оказывается неустойчивой, то предпринимаются меры для повышения категории устойчивости – устанавливаются дополнительные вентиляционные сооружения, шлюзы или же изменяется схема вентиляции.

1. *Определение тепловой депрессии в аварийной выработке (графический метод)*

*Исходные данные для расчета*

$Q$  – расход воздуха в выработке до возникновения пожара, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – угол наклона выработки, градус;

$x$  – расстояние от места возникновения пожара до конца наклонной выработки по ходу струи воздуха, м;

$\tau$  – время, прошедшее с момента возникновения пожара, мин.

**Порядок расчета**

1. Определяется длина зоны горения ( $l$ ) по формуле:

$$l = \tau \cdot \left( 0,28 + 0,07 \cdot \frac{Q}{S} \right) \quad (1)$$

причем, если с момента возникновения пожара прошло более 2,5 часа,  $\tau$  принимается равным 150 мин.

2. Определяется параметр  $a$ :

$$a = \frac{\sqrt{S}}{l} \quad (2)$$

и относительное расстояние:

$$\bar{X} = \frac{x}{l} \quad (3)$$

3. Определяется длина зоны горения по вертикали:

$$Z = l \cdot \sin \beta \quad (4)$$

а при углах наклона выработки  $\beta \leq 30^\circ$  можно использовать формулу:

$$Z = 0,017 \cdot \beta \cdot l \quad (5)$$

Величина тепловой депрессии  $h_T$  находится по нижеприведенной номограмме (рис. 1) с использованием значений  $Q, S, a, \bar{X}, Z$  по направлениям отрезков ABCDEF.

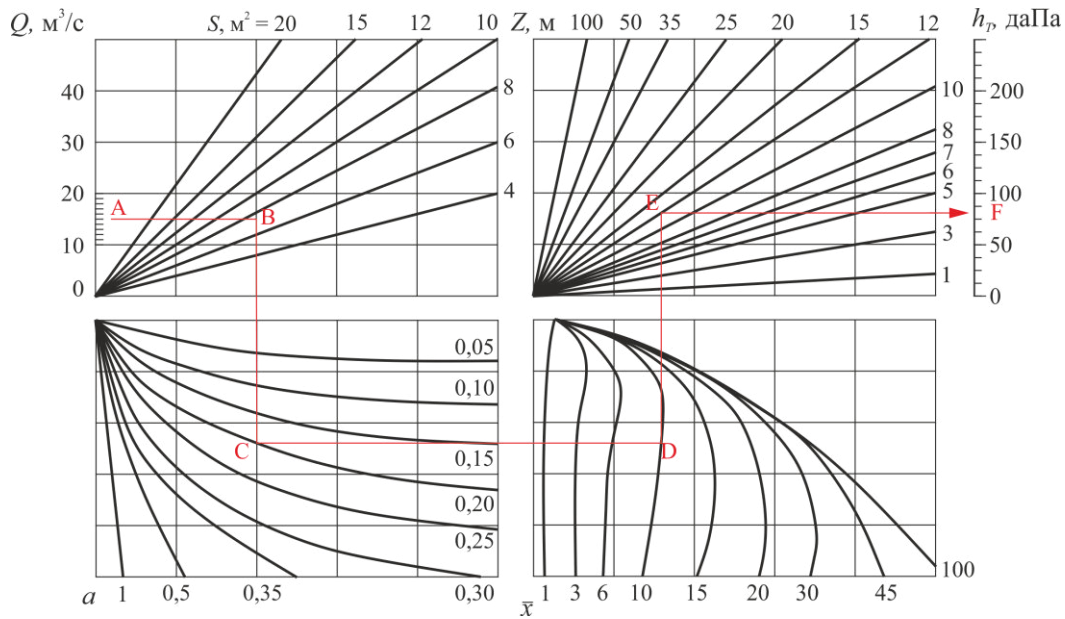


Рис. 1. Номограмма для определения тепловой депрессии.

## 2. Определение тепловой депрессии в аварийной выработке (аналитический метод)

### Исходные данные для расчета

$z$  – вертикальная высота выработки, м;

$\tau$  – время развития пожара, ч.

$S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;

$P$  – периметр выработки, м;

$L$  – длина горной выработки, м;

$\beta$  – угол наклона выработки, град;

$t_o$  – температура воздуха в выработке до возникновения в ней пожара, °С;

$t_{oc} (t_1)$  – максимальная температура пожарных газов в очаге горения, °С;

$t_1$  – температура, измеренная в исходящей из очага пожарной струе, °С;

$t_2$  – температура, измеренная перед очагом пожара, °С;

$L_1$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_1$ , м;

$L_2$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_2$ , °С;

$L_3, L_4$  и  $L_5$  – длины частей выработки, м.

### **Порядок расчета**

Тепловая депрессия  $h_T$  (мм вод. ст. или даПа, 1 даПа = 10 Па = 1,02 мм вод. ст.) при расчете аварийных вентиляционных режимов на стадии составления планов ликвидации аварий определяется по формуле:

$$h_T = 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p} \right) \right] \right\} - t_o}{273 + \left\{ t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p} \right) \right] \right\}} \quad (6)$$

где  $z$  – вертикальная высота выработки, м;

$t_o$  – температура воздуха в выработке до возникновения в ней пожара, °С;  
 $t_1$  – максимальная температура пожарных газов в очаге горения, °С (ПР3.2);  
 $G$  – количество воздуха, проходящего через горящую выработку, кг/ч (ПР3.2);  
 $C_p$  – теплоемкость воздуха, ккал/кг·°С (принимается равным 0,24 ккал/кг·°С);  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, ккал/м<sup>2</sup>·ч·°С (ПР3.2);  
 $P$  – периметр выработки, м;  
 $L$  – длина горной выработки, м;

Значение средней интегральной температуры  $t_{cu}$ , °С, за очагом пожара рассчитывается по формуле:

$$t_{cu} = t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p}\right) \right] \quad (7)$$

При способе определения тепловой депрессии пожара, заключающемся в определении температуры очага пожара и температуры воздуха в струе горной выработки до возникновения в ней пожара, дополнительно измеряют температуру газоздушного потока перед очагом пожара в зоне догорания и расстояние от точки замера этой температуры до начала аварийной выработки, определяют температуру воздуха за очагом пожара в зоне предварительного нагрева и расстояние от точки замера этой температуры до конца выработки.

В этом случае тепловая депрессия определяется по формуле:

$$h_T = 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ \frac{\{t_{oc} - t_o\}}{K \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K \cdot L)] \right\}}{273 + \left\{ t_o + \frac{\{t_{oc} - t_o\}}{K \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K \cdot L)] \right\}} + 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ \frac{\{t_{oc} - t_o\}}{K_1 \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K_1 \cdot L)] \right\}}{273 + \left\{ t_o + \frac{\{t_{oc} - t_o\}}{K_1 \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K_1 \cdot L)] \right\}} \quad (8)$$

где  $z$  – вертикальная высота выработки, м;

$L$  – длина горной выработки, м;

$t_o$  – температура воздуха в выработке до возникновения в ней пожара, °С;

$t_{oc}$  – температура очага пожара, °С.

Величины  $K$  и  $K_1$  определяются из соотношений:

$$K = -\frac{1}{L_1} \cdot \ln\left(\frac{t_1 - t_o}{t_{oc} - t_o}\right) \quad (9)$$

$$K = -\frac{1}{L_2} \cdot \ln\left(\frac{t_2 - t_o}{t_{oc} - t_o}\right) \quad (10)$$

где  $t_1$  – температура, измеренная в исходящей из очага пожарной струе, °С;

$L_1$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_1$ , м;

$t_2$  – температура, измеренная перед очагом пожара, °С;

$L_2$  – расстояние от очага пожара до места замера температуры  $t_2$ , м.

На рис. 2а показана схема аварийной горной выработки и график распределения температурного поля; на рис. 2б – то же, при ведении работ по тушению пожара.

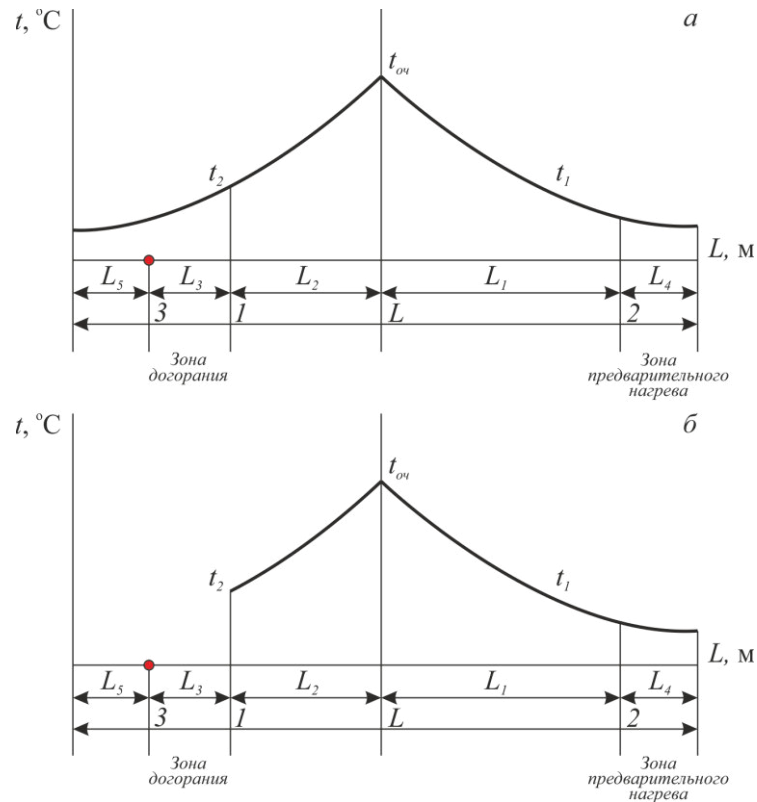


Рис. 2. Распределение температурного поля в аварийной горной выработке

Горную выработку длиной  $L$ , в которой определяется тепловая депрессия (рис. 2), при этом пункты 1 и 2 – места измерения температуры воздуха, пункт 3 – место возникновения пожара. Каждой части выработки соответствует свой профиль температур.

Длины частей выработки  $L_3$ ,  $L_4$  и  $L_5$  измеряются. Длина  $L_2$  определяется расчетным путем:

$$L_2 = V_n \cdot \tau - L_3 \quad (11)$$

где  $V_n$  – скорость движения очага пожара, м/ч;

$\tau$  – время развития пожара, ч.

Величина  $V_n$ , м/ч, определяется по формуле:

$$V_n = \frac{V_6}{0,011 + 0,009 \cdot V_6} \quad (12)$$

Длина части выработки  $L_1$  рассчитывается по формуле:

$$L_1 = L - (L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \quad (13)$$



В пунктах 1 и 2 пожарной выработки производят измерение температур  $t_1$  и  $t_2$ , причем значение температуры  $t_2$  измеряется со стороны свежей струи, а  $t_1$  – со стороны исходящей. Выбор мест для определения температур  $t_1$  и  $t_2$  осуществляется таким образом, чтобы эти температуры были не ниже  $40^\circ\text{C}$ .

Фактическое значение температуры очага определяется следующим образом.

Определяют температуру воздуха  $t_o$  и концентрацию кислорода  $C_o$  в вентиляционной струе, поступающей в пожарную выработку, концентрацию кислорода  $C$  в струе, исходящей из очага пожара, затем температура очага рассчитывается по ф. 6 (см. ПРЗ.2).

Характер изменения температурного поля перед очагом пожара по данным исследований представляет собой зеркальное отражение поля за очагом пожара.

Это имеет важное значение для определения фактического значения величины тепловой депрессии пожара, т.к. часть ее формируется перед очагом горения.

Определение тепловой депрессии может иметь и другие варианты осуществления. Так, при ведении работ по активному тушению пожара, осуществляется, как правило, со стороны свежей струи, часть выработки охлаждается и температурное поле в ней имеет вид, изображенный на рис. 2.

Величина  $t_2$  в этом случае может определяться двумя способами: либо путем прямых измерений в зоне высших температур с помощью специальных приборов и приспособлений, либо расчетным путем. В обоих случаях определение тепловой депрессии производится описанным способом, однако во втором случае дополнительно определяется величина  $t_2$ :

$$t_2 = t_o + (t_{оч} - t_o) \cdot \frac{(t_1 - t_o) \cdot L_2}{(t_{оч} - t_o) \cdot L_1} \quad (14)$$

### *3. Оценка устойчивости вентиляционных струй при пожаре*

#### *Пожар в выработках с нисходящим проветриванием*

При пожаре в выработке с нисходящим проветриванием может произойти опрокидывание струи воздуха под воздействием тепловой депрессии, превышающей ее критическую величину. Критической называется депрессия, создаваемая вентилятором главного проветривания в рассматриваемой выработке в момент прекращения поступления в нее воздуха из-за противодействия тепловой депрессии.

Опрокидывание вентиляционной струи под действием тепловой депрессии не произойдет, если:

$$h_T < h_{кр} \quad (15)$$

где  $h_T$  – тепловая депрессия, Па;

$h_{кр}$  – критическая депрессия выработки, Па.

Критическая депрессия для каждой наклонной выработки с нисходящим проветриванием должна определяться заблаговременно при составлении плана ликвидации аварии по шахте. Для этого рассчитывают естественное распределение воздуха по выработкам сети в нормальном режиме проветривания и добиваются его соответствия

фактическому воздухораспределению на момент аварии. После чего в выработки с пожаром вводят противонаправленную тепловую депрессию и рассчитывают распределение воздуха при условии максимального развития пожара. Если рассчитанная скорость воздушной струи в районе очага пожара не превышает 0,5 м/с, то необходимо предусматривать меры по стабилизации проветривания.

Практически критическую депрессию наклонной выработки можно повысить следующими способами:

увеличением сопротивления выработок, расположенных параллельно анализируемой; установкой перемычек в сбоях, соединяющих параллельные наклонные выработки с одинаковым направлением воздушной струи;

увеличением депрессии (напора) вентилятора главного проветривания;

уменьшением сопротивления выработок (открывание дверей, демонтаж вентиляционных сооружений) с исходящей струей воздуха ниже очага пожара.

Наиболее эффективным является первый способ. Сущность его заключается в искусственном увеличении сопротивления параллельной выработки, воздух в которой движется в том же направлении, что и в анализируемой. Увеличение сопротивления выработки достигается закрыванием пожарных дверей или специально установленных для этой цели вентиляционных сооружений, которые при нормальном проветривании должны быть открытыми.

При отсутствии данных критическую депрессию в аварийных условиях определяют с использованием материалов депрессионной съемки.

Если рассматриваемая выработка имеет одну или несколько параллельных выработок с тем же направлением движения воздуха, то критическая депрессия определяется по формуле:

$$h_{кр} = 0,9 \cdot r_n \cdot (Q - Q_n)^2 \quad (16)$$

где  $r_n$  – сопротивление параллельной выработки, (Па·с<sup>2</sup>)/м<sup>6</sup>;

$Q$  – расход воздуха в рассматриваемой выработке в нормальном режиме проветривания, м<sup>3</sup>/с;

$Q_n$  – тоже в параллельной выработке, м<sup>3</sup>/с.

#### *Пожар в выработке с восходящим проветриванием*

При пожаре в выработке с восходящим движением воздуха тепловая депрессия может вызывать опрокидывание вентиляционной струи в параллельной выработке.

Условие стабильного проветривания системы двух параллельных выработок при пожаре выражается неравенством:

$$h_T < R' \cdot Q_o^2 \quad (17)$$

где  $R'$  – сопротивление аварийной выработки, Па·с<sup>2</sup>/м<sup>6</sup>;

$Q_o$  – критический расход воздуха в аварийной выработке м<sup>3</sup>/с, должен определяться заблаговременно.

Расчетная величина сопротивления  $R_p$ , при котором исключается опрокидывание отдельных струй, определяется по формуле:

$$R_p = \frac{h_T}{Q_o^2} \quad (18)$$

Если фактическое сопротивление аварийной выработки  $R$  меньше расчетного  $R_p$ , то необходимо ниже очага пожара (в 10-15 м) установить перемычку (парусную, парашютную и т.п.) с сопротивлением  $R_{don} > R_p - R$ .

**Пример 1.** В условиях ПР.3 определить величину тепловой депрессии и оценить степень устойчивости вентиляционной струи при пожаре в лаве при следующих исходных данных:  $Q = 18 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $S = 3 \text{ м}^2$ ;  $\beta = 10^\circ$ ;  $x = 150 \text{ м}$ ;  $\tau = 80 \text{ мин}$ . Величина тепловой депрессии на случай возникновения пожара в лаве, заложенная в план ликвидации аварии составляет 75 даПа.

**Решение.**

1. Длина зоны горения (ф. 1):

$$l = \tau \cdot \left( 0,28 + 0,07 \cdot \frac{Q}{S} \right) = 80 \cdot \left( 0,28 + 0,07 \cdot \frac{18}{3} \right) = 56 \text{ м}$$

2. Параметр  $a$  (ф. 2):

$$a = \frac{\sqrt{S}}{l} = \frac{\sqrt{3}}{56} = 0,03$$

и относительное расстояние (ф. 3):

$$\bar{X} = \frac{x}{l} = \frac{150}{56} = 2,7$$

3. Длина зоны горения по вертикали (ф. 4):

$$Z = l \cdot \sin \beta = 56 \cdot 0,17 = 9,5 \text{ м}$$

4. Величина тепловой депрессии по номограмме (рис. 3) составляет  $h_T = 28,6 \text{ даПа}$ .

Таким образом, при  $h_T = 28,6 \text{ даПа} < h_{кр} = 75 \text{ даПа}$  условие стабильного проветривания выработок при пожаре соблюдается.

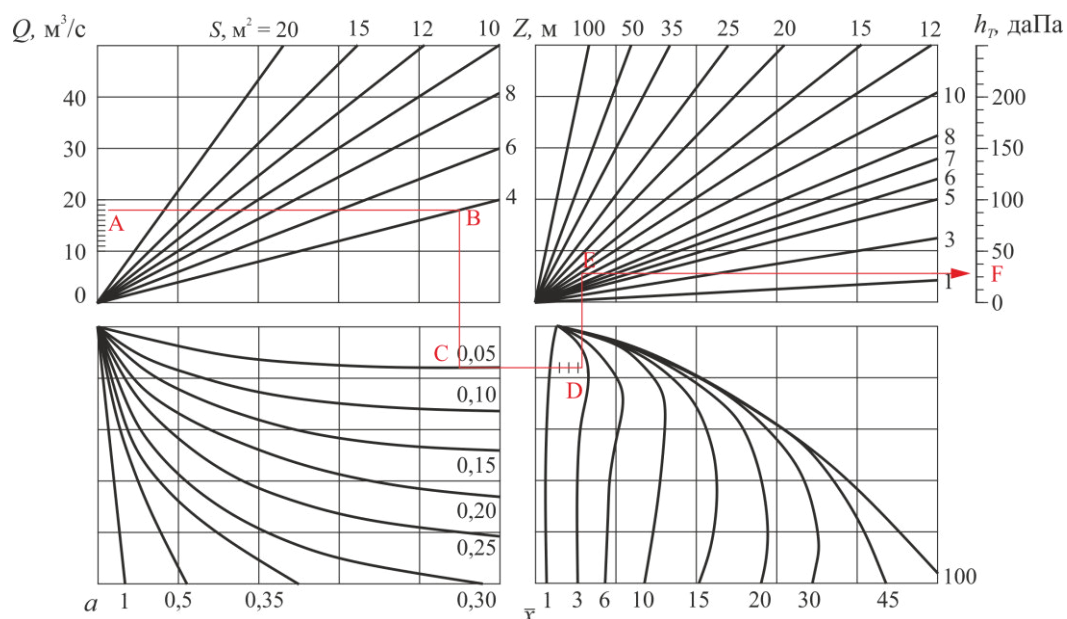


Рис. 3. Номограмма для определения тепловой депрессии при следующих параметрах:

$Q = 18 \text{ м}^3/\text{с}; S = 3 \text{ м}^2; a = 0,03; X = 2,7; Z = 9,5$  ( $S$  и  $a$  приняты по ближайшим кривым  $4 \text{ м}^2$  и  $0,05$ , соответственно)

**Пример 2.** В условиях ПР.3 определить величину тепловой депрессии при пожаре в лаве при следующих исходных данных:  $\beta = 10^\circ$ ;  $S = 3 \text{ м}^2$ ;  $P = 7,2 \text{ м}$ ;  $L = 275 \text{ м}$ ;  $V_g = 2 \text{ м/с}$ ;  $\tau = 80 \text{ мин}$ .

Данные, полученные в результате разведки ВГСЧ:  $C = 21\%$ ;  $C_o = 4,4\%$ ;  $t_o = 25^\circ\text{C}$  (ПР3.2);  $L_4 = 10 \text{ м}$ ;  $t_1 = 45^\circ$ ;  $L_3 = 10 \text{ м}$ ;  $L_5 = 5 \text{ м}$ ;  $t_2$  принимается равным  $t_{cu}$ . Величина тепловой депрессии на случай возникновения пожара в лаве, заложенная в план ликвидации аварии составляет  $75 \text{ даПа}$ .

### Решение

1. Вертикальная высота выработки составляет:

$$z = L \cdot \sin \beta = 275 \cdot 0,17 = 47 \text{ м}$$

2. Фактическая температура пожарных газов в зоне горения:

$$t_{oc} = t_o + 221 \cdot \sqrt{C_o - C} = 25 + 221 \cdot \sqrt{21 - 4,4} = 931 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Массовый расход воздуха в лаве составит:

$$G = 3600 \cdot V_g \cdot S \cdot \rho_g = 3600 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1,293 = 27928,8 \text{ кг/ч}$$

4. Тепловая депрессия при расчете аварийных вентиляционных режимов на стадии составления планов ликвидации аварий составляет (ф. 6):

$$h_r = 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p} \right) \right] \right\} - t_o}{273 + \left\{ t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p} \right) \right] \right\}} =$$

$$= 1,25 \cdot 47 \cdot \frac{\left\{ 25 + \frac{(931 - 25) \cdot 27928,8 \cdot 0,24}{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275}{27928,8 \cdot 0,24} \right) \right] \right\} - 25}{273 + \left\{ 25 + \frac{(931 - 25) \cdot 27928,8 \cdot 0,24}{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275}{27928,8 \cdot 0,24} \right) \right] \right\}} = 27,3 \text{ мм вод. ст.}$$

(26,8 даПа)

4. Значение средней интегральной температуры за очагом пожара (ф. 7):

$$t_{cu} = t_o + \frac{(t_1 - t_o) \cdot G \cdot C_p}{\alpha \cdot P \cdot L} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{\alpha \cdot P \cdot L}{G \cdot C_p} \right) \right] =$$

$$= 25 + \frac{(931 - 25) \cdot 27928,8 \cdot 0,24}{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275} \cdot \left[ 1 - \exp\left( -\frac{11,5 \cdot 7,2 \cdot 275}{27928,8 \cdot 0,24} \right) \right] = 258 \text{ }^\circ\text{C}$$

5. Скорость движения очага пожара (ф. 12)

$$V_n = \frac{V_g}{0,011 + 0,009 \cdot V_g} = \frac{2}{0,011 + 0,009 \cdot 2} = 69 \text{ м/ч}$$

6. Длина  $L_2$  составляет (ф. 11):

$$L_2 = V_n \cdot \tau - L_3 = 69 \cdot 1,33 - 10 = 82 \text{ м}$$

7. Длина части выработки  $L_1$  (ф. 13):

$$L_1 = L - (L_2 + L_3 + L_4 + L_5) = 275 - (82 + 10 + 10 + 5) = 168 \text{ м}$$

8. Величины  $K$  и  $K_1$  составляют (ф. 9-10):

$$K = -\frac{1}{L_1} \cdot \ln\left(\frac{t_1 - t_o}{t_{oc} - t_o}\right) = -\frac{1}{168} \cdot \ln\left(\frac{45 - 25}{931 - 25}\right) = 0,023$$

$$K_1 = -\frac{1}{L_2} \cdot \ln\left(\frac{t_2 - t_o}{t_{oc} - t_o}\right) = -\frac{1}{82} \cdot \ln\left(\frac{258 - 25}{931 - 25}\right) = 0,017$$

9. Тепловая депрессия аварийной выработки составит (ф. 8):

$$\begin{aligned} h_T &= 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ \frac{t_{oc} - t_o}{K \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K \cdot L)] \right\}}{273 + \left\{ t_o + \frac{t_{oc} - t_o}{K \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K \cdot L)] \right\}} + \\ &+ 1,25 \cdot z \cdot \frac{\left\{ \frac{t_{oc} - t_o}{K_1 \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K_1 \cdot L)] \right\}}{273 + \left\{ t_o + \frac{t_{oc} - t_o}{K_1 \cdot L} \cdot [1 - \exp(-K_1 \cdot L)] \right\}} = \\ &= 1,25 \cdot 47 \cdot \frac{\left\{ \frac{931 - 25}{0,023 \cdot 275} \cdot [1 - \exp(-0,023 \cdot 275)] \right\}}{273 + \left\{ 25 + \frac{931 - 25}{0,023 \cdot 275} \cdot [1 - \exp(-0,023 \cdot 275)] \right\}} + \\ &+ 1,25 \cdot 47 \cdot \frac{\left\{ \frac{931 - 25}{0,017 \cdot 275} \cdot [1 - \exp(-0,017 \cdot 275)] \right\}}{273 + \left\{ 25 + \frac{931 - 25}{0,017 \cdot 275} \cdot [1 - \exp(-0,017 \cdot 275)] \right\}} = 42,1 \text{ мм вод. ст (41,3 даПа)} \end{aligned}$$

### Практическая работа № 10

#### ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ ПРИ АВАРИЯХ. ПРОГНОЗ ГАЗОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА АВАРИЙНОМ УЧАСТКЕ

**Цель:** ознакомиться с методиками прогноза газовой обстановки на аварийном участке.

##### 1. Определение времени загазовывания метаном выработок участка

Уменьшение расхода воздуха на аварийном участке может привести к загазированию лавы и исходящей струи участка выше предельно допустимой концентрации метана (2%), достигая взрывоопасных значений (4,3%), особенно после изоляции участка.

##### Исходные данные для расчета

$Q_1$  – средний расход воздуха в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  – ожидаемый расход воздуха после изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/с;

- $C_o$  – содержание метана в поступающей на участок струе воздуха, %;  
 $C_l$  – содержание метана в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, %;  
 $C$  – допустимая (или взрывоопасная) концентрация метана, %;  
 $a$  – объемная доля газовыделения на участке из разрабатываемого пласта;  
 $k_{ут.в}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство;  
 $S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки с исходящей струей воздуха, м<sup>2</sup>;  
 $m$  – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта, м;  
 $b$  – ширина призабойного пространства, м;  
 $V$  – средняя скорость подвигания забоя за последние 5 месяцев, м/мес;  
 $L$  – длина лавы, м;  
 $l$  – длина выработки с исходящей струей, м.

### Порядок расчета

1. Определяется относительная концентрация метана по формуле:

$$\bar{C} = \frac{(C - C_o)}{(C_l - C_o) \cdot \left(\frac{Q_l}{Q} - 1\right)} \quad (19)$$

где  $Q_l$  – средний расход воздуха в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/с;

$Q$  – ожидаемый расход воздуха после изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/с;

$C_o$  – содержание метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$C_l$  – содержание метана в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, %;

$C$  – допустимая (2%) или взрывоопасная (4,3%) концентрация метана, %;

Если значение  $\bar{C}$  больше 1, то участок не может быть загазован до заданной концентрации метана  $C$ .

2. Коэффициенты восстановления газовыделения  $n_l$  и  $n_g$  в случае  $\bar{C} < a$  определяются для разрабатываемого пласта по формуле:

$$n_l = \frac{\bar{C}}{a} \quad (20)$$

где  $a$  – объемная доля газовыделения на участке из разрабатываемого пласта (при отсутствии данных принимается равной 0,5);

при  $\bar{C} > a$  для выработанного пространства:

$$n_g = \frac{C - a}{1 - a} \quad (21)$$

По графику, приведенному ниже (рис. 4), ходом ключа слева направо и вниз находится кратность обмена воздуха в лаве  $\tau_l$  по кривой 1 или выработанном пространстве  $\tau_g$  по кривой 2.

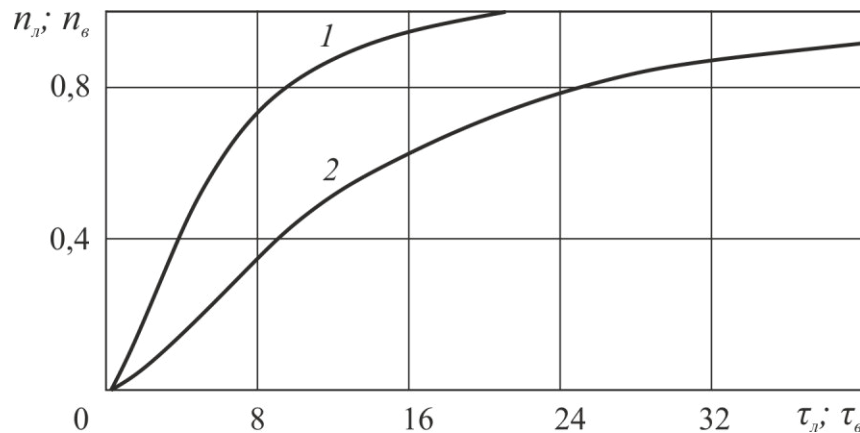


Рис. 4. Кривые восстановления газовой выделенности: 1 – из разрабатываемого пласта; 2 – из выработанного пространства.

Время (ч) загазовывания метаном лавы (при  $x = 0$ ) и всего участка (при  $x = l$ ) определяется для  $\tau_l$  (лава) по формуле:

$$t = \frac{k_{ym} \cdot \tau_l \cdot b \cdot m \cdot L + S \cdot x}{3600 \cdot Q} \quad (22)$$

где  $k_{ym.в}$  – коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство (прил. 1, табл. 1);

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки с исходящей струей воздуха,  $m^2$ ;

$m$  – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта, м;

$b$  – ширина призабойного пространства, м;

$V$  – средняя скорость продвижения забоя за последние 5 месяцев, м/мес;

$L$  – длина лавы, м (определяется по схеме выемочного участка);

$l$  – длина выработки с исходящей струей, м (определяется по схеме выемочного участка).

для значения  $\tau_в$  (выработанное пространство) по формуле:

$$t = \frac{2 \cdot k_{ym.в} \cdot \tau_в \cdot V \cdot m \cdot L + (k_{ym} - 1) \cdot S \cdot x}{3600 \cdot (k_{ym} - 1) \cdot Q} \quad (23)$$

**Пример.** Определить время загазовывания метаном до 2 % лавы и участка с прямоточной схемой проветривания при примыкании свежей струи к угольному массиву, а исходящей – к выработанному пространству без подсвежающей струи при полном обрушении кровли. Расход воздуха на участке резко уменьшился при закорачивании вентиляционной струи.

Исходные данные для расчета:  $Q_1 = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $C_o = 0,1\%$ ;  $C_l = 0,9\%$ ;  $C = 2\%$ ;  $a = 0,6$ ;  $S = 7 \text{ м}^2$ ;  $b = 4 \text{ м}$ ;  $V = 40 \text{ м/мес}$ ;  $L = 150 \text{ м}$ ;  $l = 500 \text{ м}$ ;  $m = 0,9 \text{ м}$ .

По материалам депрессионной съемки коэффициент утечек воздуха  $k_{ym.в} = 1,55$ .

**Решение.**

1. Относительная концентрация метана (ф. 19):

$$\bar{C} = \frac{(C - C_o)}{(C_1 - C_o) \cdot \left(\frac{Q_1}{Q} - 1\right)} = \frac{(2 - 0,1)}{(0,9 - 0,1) \cdot \left(\frac{16}{1,8} - 1\right)} = 0,3 \%$$

2. Так как  $C < a = 0,6$ , то согласно ф. 20:

$$n_x = \frac{\bar{C}}{a} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5$$

3. По кривой 1 (рис. 5) определяем  $\tau_l = 4,8$ . Время загазовывания лавы метаном до 2% ( $x = 0$ ) равно (ф. 22):

$$\tau = \frac{k_{ym.g} \cdot \tau_l \cdot b \cdot m \cdot L + S \cdot x}{3600 \cdot Q} = \frac{1,55 \cdot 4,8 \cdot 4 \cdot 0,9 \cdot 150 + 7 \cdot 0}{3600 \cdot 1,8} \approx 0,6 \text{ ч}$$

и участка в целом ( $x = 500$  м):

$$\tau = \frac{k_{ym} \cdot \tau_l \cdot b \cdot m \cdot L + S \cdot x}{3600 \cdot Q} = \frac{1,55 \cdot 4,8 \cdot 4 \cdot 0,9 \cdot 150 + 7 \cdot 500}{3600 \cdot 1,8} \approx 1,1 \text{ ч}$$

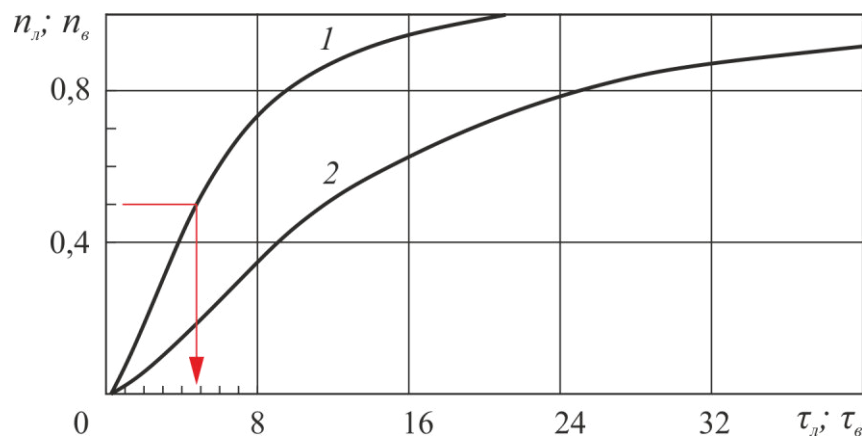


Рис. 5. Кривые восстановления газовыделения из разрабатываемого пласта.

4. По кривой 2 (см. рис. 6) определяем  $\tau_g = 11,6$ . В время загазовывания выработанного пространства метаном до 2% равно (ф. 23):

$$\tau = \frac{2 \cdot k_{ym} \cdot \tau_g \cdot V \cdot m \cdot L + (k_{ym} - 1) \cdot S \cdot x}{3600 \cdot (k_{ym} - 1) \cdot Q} = \frac{2 \cdot 1,55 \cdot 11,6 \cdot 40 \cdot 0,9 \cdot 150 + (1,55 - 1) \cdot 7 \cdot 500}{3600 \cdot (1,55 - 1) \cdot 1,8} \approx 52 \text{ ч}$$

Так как в приведенном примере выработка с исходящей струей примыкает к выработанному пространству, то в нем могут образоваться взрывоопасные скопления метана.



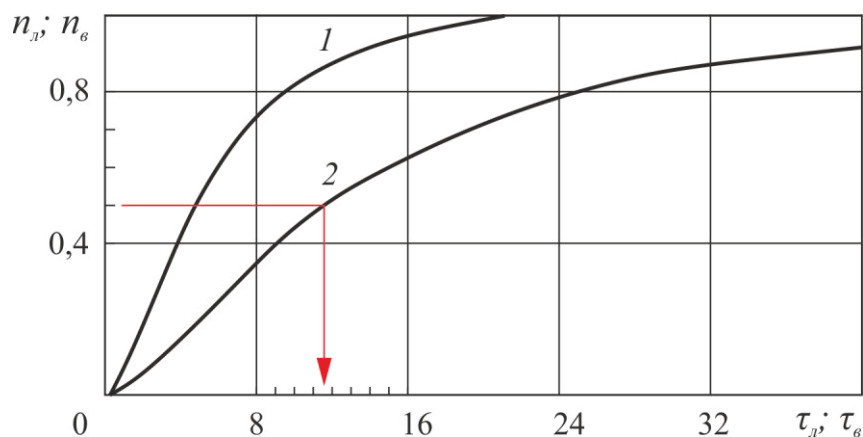


Рис. 6. Кривые восстановления газовыделения – из выработанного пространства.

## 2. Определение времени загазовывания метаном тупиковой выработки

В практике тушения пожаров в тупиковых выработках не редкими являются случаи остановки вентиляторов местного проветривания, что представляет особую опасность при пожарах в тупиковых выработках с высоким содержанием метана. В этом случае важным является знание продолжительности загазовывания тупиковой выработки до предельно допустимой и взрывоопасной концентрации.

### Исходные данные для расчета

$C_3$  – концентрация метана в забое тупиковой выработки в нормальном режиме проветривания, %;

$C$  – предельно допустимая или взрывоопасная концентрация метана, %;

$I_3$  – метановыделение (дебит метана) в забое выработки, м<sup>3</sup>/мин;

$I$  – общая метанообильность выработки, м<sup>3</sup>/мин;

$S, h$  – площадь поперечного сечения выработки и ее высота в 10-20 м от забоя, м<sup>2</sup> и м соответственно;

$l$  – длина выработки, м;

$V$  – средняя скорость продвижения забоя за последние 5 месяцев, м/мес.

### **Порядок расчета**

Определяется длина, м, газоотдающей части тупиковой выработки по меньшему значению двух величин:

$$l_T = \min(l; 5 \cdot V) \quad (24)$$

где  $l$  – длина выработки, м;

$V$  – средняя скорость продвижения забоя за последние 5 месяцев, м/мес.

Относительный прирост среднего по сечению содержания метана в забое тупиковой выработки составляет:

$$\Delta C_c = \frac{(C - C_3) \cdot S}{1,25 \cdot l_T \cdot (I_3 + I)} \quad (25)$$

где  $C_3$  – концентрация метана в забое тупиковой выработки в нормальном режиме проветривания, %;

$C$  – предельно допустимая (2%) или взрывоопасная (4,3%) концентрация метана, %;  
 $I_3$  – метановыделение (дебит метана) в забое выработки, м<sup>3</sup>/мин;  
 $I$  – общая метанообильность выработки, м<sup>3</sup>/мин;  
 $S$  – площадь поперечного сечения выработки и ее высота в 10-20 м от забоя, м<sup>2</sup>.

Относительный прирост содержания метана в кровле выработки в забое:

$$\Delta C_k = \frac{(C - C_3) \cdot S^2}{1,25 \cdot l_T \cdot S \cdot (I_3 + I) + 46 \cdot h^5 \cdot (I_3 + I)^2} \quad (26)$$

где  $h$  – высота выработки в 10-20 м от забоя, м

Продолжительность создания предельно допустимого и взрывоопасного содержания метана, мин:

по всему сечению выработки

$$t_c = -\frac{l_T^2}{100} \cdot \ln(1 - \Delta C_c) \quad (27)$$

в кровле выработки

$$t_k = -\frac{l_T^2}{100} \cdot \ln(1 - \Delta C_k) \quad (28)$$

Для упрощения расчетов в ряде случаев можно использовать метод определения времени загазовывания выработки по номограмме, который дает некоторую погрешность в сторону увеличения надежности расчетных данных.

Согласно длине газоотдающей части тупиковой выработки и данным о ее площади поперечного сечения и метановыделению определяется время, мин, однократного обмена газа в тупиковой выработке:

$$A = \frac{S \cdot l_T}{I_3 + I} \quad (29)$$

По номограмме, приведенной на рис. 7, для величин  $A$  и  $h$  ходом ключа слева направо и вниз определяется параметр времени  $\tau$ , мин, а время загазовывания тупиковой выработки до заданной концентрации метана может быть рассчитано по следующим формулам:

в призабойной части

$$t_k = (C - C_3) \cdot \tau \quad (30)$$

по всему сечению выработки

$$t_c = 0,008 \cdot (C - C_3) \cdot A \quad (31)$$

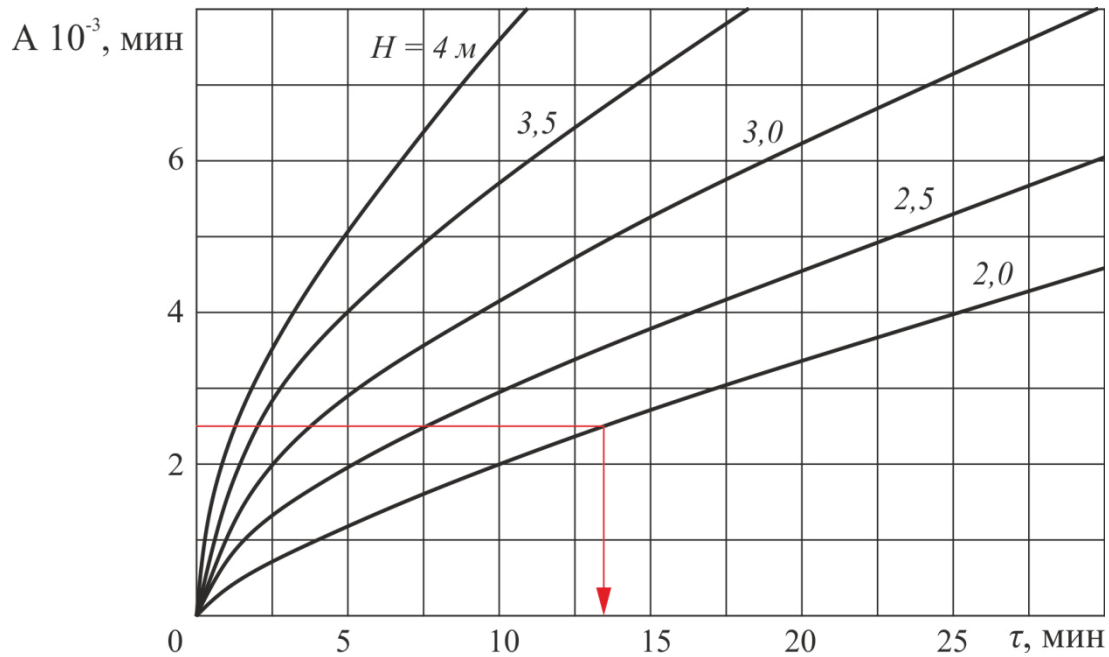


Рис. 7. Номограмма для определения времени загазовывания тупиковой выработки

**Пример.** Определить время создания взрывоопасного содержания метана в забое тупиковой выработки после остановки вентилятора местного проветривания (ВМП) при следующих исходных данных:  $C_3 = 0,5\%$ ,  $C = 4,3\%$ ,  $I_3 = 0,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $I = 0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ ,  $S_m = 9 \text{ м}^2$ ,  $h_m = 3 \text{ м}$ ,  $l = 1000 \text{ м}$ ,  $V = 80 \text{ м}/\text{мес}$ .

**Решение.**

Длина газоотдающей части тупиковой выработки по меньшему значению двух величин (ф. 24):

$$l_T = \min(l; 5 \cdot V) = \min(1000; 5 \cdot 80) = 400 \text{ м}$$

Относительный прирост среднего по сечению содержания метана в забое тупиковой выработки составляет (ф. 25):

$$\Delta C_c = \frac{(C - C_3) \cdot S}{1,25 \cdot l_T \cdot (I_3 + I)} = \frac{(4,3 - 0,5) \cdot 9}{1,25 \cdot 400 \cdot (0,2 + 0,5)} = 0,098 \%$$

Относительный прирост содержания метана в кровле выработки в забое (ф. 26):

$$\Delta C_k = \frac{(4,3 - 0,5) \cdot 9^2}{1,25 \cdot 400 \cdot 9 \cdot (0,2 + 0,5) + 46 \cdot 3^5 \cdot (0,2 + 0,5)^2} = 0,036 \%$$

Продолжительность создания предельно допустимого и взрывоопасного содержания метана (ф. 27-28):

по всему сечению выработки

$$t_c = -\frac{l_T^2}{100} \cdot \ln(1 - \Delta C_c) = -\frac{400^2}{100} \cdot \ln(1 - 0,098) = 164,5 \text{ мин}$$

в кровле выработки

$$t_k = -\frac{l_T^2}{100} \cdot \ln(1 - \Delta C_k) = -\frac{400^2}{100} \cdot \ln(1 - 0,036) = 58,1 \text{ мин}$$

При  $l_T = 400$  м,  $S = 9$  м<sup>2</sup>,  $I_3 = 0,2$  м<sup>3</sup>/мин и  $I = 0,5$  м<sup>3</sup>/мин время однократного обмена газа в тупиковой выработке составит (ф. 29):

$$A = \frac{S \cdot l_T}{I_3 + I} = \frac{9 \cdot 400}{0,2 + 0,5} = 5143 \text{ мин}$$

Согласно номограмме (рис. 8) параметр времени  $\tau = 14,5$  мин, а время загазовывания тупиковой выработки до заданной концентрации метана составит (ф. 30-31):

в призабойной части

$$t_k = (C - C_3) \cdot \tau = (4,3 - 0,5) \cdot 14,5 = 55,1 \text{ мин}$$

по всему сечению выработки

$$t_c = 0,008 \cdot (C - C_3) \cdot A = 0,008 \cdot (4,3 - 0,5) \cdot 5143 = 156,3 \text{ мин}$$

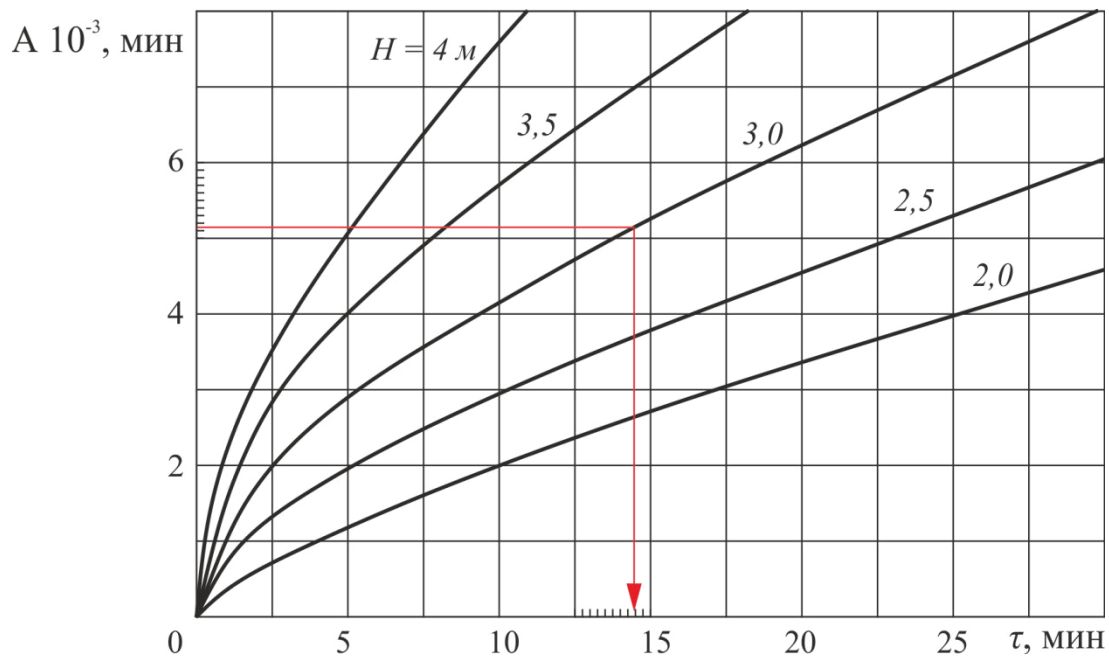


Рис. 8. Номограмма для определения времени загазовывания тупиковой выработки.

### 3. Определение взрываемости смеси горючих газов

При перемешивании метана с воздухом концентрация кислорода в смеси снижается по линейной зависимости от 21 % (содержание кислорода в атмосферном воздухе) до 0 при 100 % содержании метана. При концентрации метана от 5 до 15%, что соответствует содержанию кислорода в смеси от 18 до 20%, смесь горит и взрывается. Однако в реальных условиях шахты концентрация кислорода может быть существенно меньше обозначенных пределов из-за сорбции кислорода углем, поглощения при горении, а также образования и выделения инертных газов. Поэтому пределы взрываемости смесей метана с воздухом при различных концентрациях кислорода можно определить по треугольнику взрываемости (рис. 9).

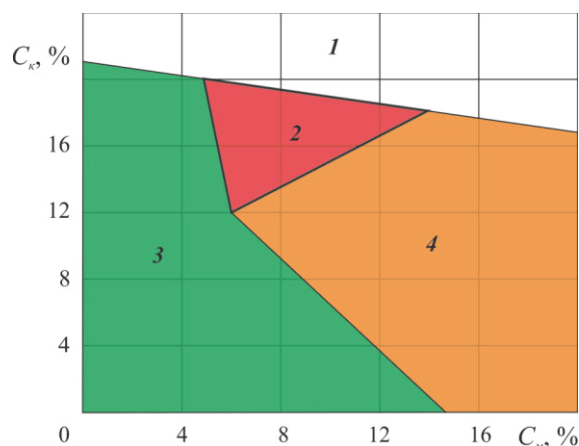


Рис. 9. Объемные пределы взрываемости метановоздушных смесей:  
1 – несуществующая смесь; 2 – взрывчатая смесь; 3 – невзрывчатая смесь; 4 – смесь, способная стать взрывчатой при добавлении воздуха.

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. 9 видно, что наблюдается постепенное сужение нижнего и верхнего концентрационных 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, но различные размеры. Взрываемость смеси горючих газов при подземных пожарах также определяется с помощью «треугольника взрываемости». Нижний концентрационный предел взрываемости смеси горючих газов (об. %) определяется по формуле, предложенной Ле Шателье:

$$X = \frac{100}{\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_i}{N_i}} \quad (32)$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_i$  – объемное содержание каждого горючего компонента в смеси горючих газов, %;

$N_1, N_2, \dots, N_i$  – нижние концентрационные пределы взрываемости каждого из этих компонентов, %.

Объемное содержание каждого горючего компонента в смеси горючих газов определяется по формуле:

$$n_i = \frac{100 \cdot C_i}{\sum_i^n C_i} \quad (33)$$

где  $C_i$  – концентрация соответствующего горючего газа в смеси с воздухом, %.

Формула Ле Шателье верна для большинства углеводородов. Однако для смесей, состоящих из сильно различающихся по структуре органических компонентов, применимость этой формулы ухудшается.

Исходные данные для расчета

$C_1, C_2, C_3$  – концентрация метана, оксида углерода и водорода соответственно, %;

$O_2$  – содержание кислорода в зоне горения, %.

**Порядок расчета**

Для оценки взрываемости смеси горючих газов вначале определяется общее суммарное содержание горючих газов  $C_2$ , %. Для наиболее распространенных в угольных шахтах горючих газов используется формула:

$$C_2 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (34)$$

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

Координаты вершин треугольника по оси абсцисс находятся по формулам для нижнего предела взрываемости:

$$B_n = \frac{4,3 \cdot C_2}{C_1 + 0,344 \cdot C_2 + 1,075 \cdot C_3} \quad (35)$$

и для верхнего предела взрываемости:

$$B_в = \frac{15 \cdot C_2}{C_1 + 0,202 \cdot C_2 + 0,2 \cdot C_3} \quad (36)$$

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

$$П_k = \frac{10,5 \cdot C_1 + 5,6 \cdot C_2 + 5 \cdot C_3}{C_2} \quad (37)$$

Значения полученных величин  $C_2, B_n$  и  $B_в$  позволяют судить о взрывоопасности горючих газов. Так, смесь не взрывоопасна в случаях, если  $C_2 < B_n$  или  $C_2 > B_в$ , а также при  $O_2 < П_k$ , если:

$$B_n < C_2 < B_в \quad (38)$$

где  $O_2$  – содержание кислорода в зоне горения, %.

Для наглядной оценки взрываемости представлен набор вложенных друг в друга треугольников (рис. 10).

Чтобы определить, какой из треугольников взрываемости соответствует данной смеси горючих газов, предварительно находят (с точностью до одной десятой) долю метана и оксида углерода в их составе по формулам:

$$P_{CH_4} = \frac{C_1}{C_2}; \quad (39)$$

$$P_{CO} = \frac{C_2}{C_2} \quad (40)$$

Там же на графике наносится т. X с координатами  $C_2$  и  $O_2$ , соответствующими состоянию атмосферы пожарного участка. Если т. X попадает в пределы площади треугольника с соответствующим значением доли  $CH_4$ , то смесь горючих газов взрывоопасна.

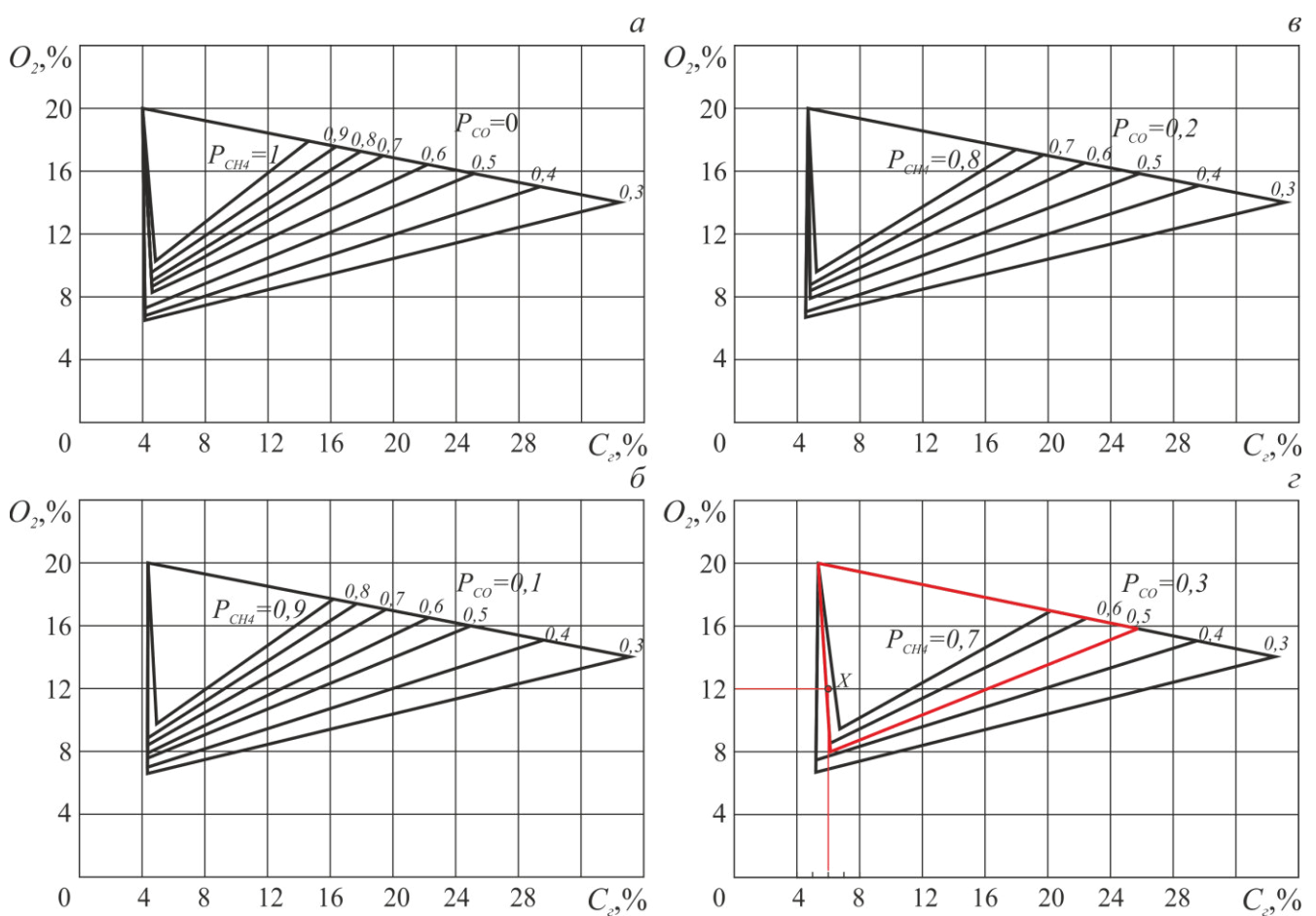


Рис. 10. Треугольники взрываемости: а –  $P_{CO} = 0$ ; б –  $P_{CO} = 0,1$ ; в –  $P_{CO} = 0,2$ ; г –  $P_{CO} = 0,3$

**Пример.** Оценить взрываемость смеси горючих газов, %:  $C_1 = 3,0$ ;  $C_2 = 2,0$ ;  $C_3 = 1,0$  и  $O_2 = 12,0$ . Выбрать способ предотвращения взрывов при ведении горноспасательных работ.

**Решение.** Сумма горючих газов согласно ф. 34 равна:

$$C_2 = C_1 + C_2 + C_3 = 3 + 2 + 1 = 6 \%$$

Координаты треугольника взрываемости в соответствии с ф. 35-37 равны:

$$B_H = \frac{4,3 \cdot C_2}{C_1 + 0,344 \cdot C_2 + 1,075 \cdot C_3} = \frac{4,3 \cdot 6}{3 + 0,344 \cdot 2 + 1,075 \cdot 1} = 5,4 \%$$

$$B_G = \frac{15 \cdot C_2}{C_1 + 0,202 \cdot C_2 + 0,2 \cdot C_3} = \frac{15 \cdot 6}{3 + 0,202 \cdot 2 + 0,2 \cdot 1} = 25 \%$$

$$P_K = \frac{10,5 \cdot C_1 + 5,6 \cdot C_2 + 5 \cdot C_3}{C_2} = \frac{10,5 \cdot 3 + 5,6 \cdot 2 + 5 \cdot 1}{6} = 8 \%$$

Так как  $B_H < C_2 < B_G$  и  $O_2 > P_K$ , то смесь горючих газов может быть опасной.

Дополнительная проверка по ф. 39-40 и рис. 10г при объемных долях:

метана

$$P_{CH_4} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{3}{6} = 0,5$$

оксида углерода

$$P_{CO} = \frac{C_2}{C_2} = \frac{2}{6} = 0,3$$

показывает, что точка  $X$  с координатами  $(C_2; O_2 - 6,0; 12,0)$  попадет в контур треугольника взрываемости при расчетной объемной доле  $P_{CO} = 0,3$  и  $P_{CH_4} = 0,6$ .

Предотвратить взрыв смеси горючих газов (для случая, изображенного на последнем треугольнике взрываемости) можно двумя способами:

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

#### 4. Определение концентрации метана при изменении расхода воздуха

Рекомендуемый порядок прогноза ожидаемой концентрации метана на аварийном участке применяется в случаях изменения вентиляционного давления не более чем на 10 даПа, что соответствует условиям расположения регулятора в пределах выемочного участка или в непосредственной близости от него.

##### Исходные данные для расчета

$Q$  – расход воздуха на участке до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_1$  – то же после изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки с исходящей струей, м<sup>2</sup>;

$C_o$  – концентрация метана в поступающем на участок воздухе, %;

$C$  – то же в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, %;

$I_{пл}$  – абсолютное газовыделение из разрабатываемого пласта, м<sup>3</sup>/мин.

##### **Порядок расчета**

При уменьшении расхода воздуха прогноз газовой обстановки выполняется в следующей последовательности.

1. Абсолютное газовыделение (м<sup>3</sup>/мин) из выработанного пространства:

$$I_{вн} = 0,01 \cdot (C - C_o) \cdot Q - I_{пл} \quad (41)$$

где  $C$  – то же в исходящей струе участка до изменения режима проветривания, %;

$C_o$  – концентрация метана в поступающем на участок воздухе, %;

$Q$  – расход воздуха на участке до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;



$I_{nl}$  – абсолютное газовыделение из разрабатываемого пласта, м<sup>3</sup>/мин.

2. Ожидаемая концентрация метана (%) в исходящей струе участка после изменения режима проветривания:

$$C_1 = C_o + 100 \cdot \left( \frac{I_{nl}}{Q_1} + \frac{I_{en}}{Q} \right) \quad (42)$$

где  $Q_1$  – то же после изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

при отсутствии данных о газовом балансе:

$$C_1 = C_o + 0,5 \cdot (C - C_o) \cdot \left( \frac{Q}{Q_1} + 1 \right) \quad (43)$$

3. Квадрат скорости воздуха (м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>), характеризующий интенсивность проветривания выработки:

$$V^2 = \left( \frac{Q_1}{60 \cdot S} \right)^2 \quad (44)$$

Если  $V^2 < C_1$ , возможно образование взрывоопасной концентрации метана на вентиляционном штреке, а также в лаве или выработанном пространстве в зоне, примыкающей к вентиляционной выработке.

4. При увеличении расхода воздуха ожидаемая максимальная концентрация метана (%) определяется по формуле:

$$C_{\max} = C_1 \cdot \left( 2 - \frac{Q}{Q_1} \right) \quad (45)$$

После увеличения расхода воздуха возможно временное повышение концентрации метана в исходящей струе аварийного участка с превышением предельно допустимой при ведении горноспасательных работ ( $C_o = 2\%$ ).

Поэтому при начальной концентрации метана более 1% увеличение расхода воздуха следует производить ступенчато с приростом не более:

$$\Delta Q = \frac{1 - 0,5 \cdot C_1}{C_1 - 1} \cdot Q_1 \quad (46)$$

**Пример.** Выполнить прогноз газовой обстановки на аварийном участке при пожаре в выработанном пространстве, если в результате завалов расход воздуха уменьшился и решено восстановить нормальное проветривание участка.

Исходные данные:  $Q = 500 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_1 = 200 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $S = 8 \text{ м}^2$ ;  $C_o = 0\%$ ;  $C = 1\%$ .  
Газовый баланс аварийного участка неизвестен.

**Решение.** Объемная доля метана в исходящей струе участка в результате уменьшения расхода воздуха в соответствии с ф. 43:

$$C_1 = C_o + 0,5 \cdot (C - C_o) \cdot \left( \frac{Q}{Q_1} + 1 \right) = 0 + 0,5 \cdot (1 - 0) \cdot \left( \frac{500}{200} + 1 \right) \approx 1,75 \%$$

Квадрат скорости воздуха в вентиляционном штреке по ф. 44:

$$V^2 = \left( \frac{Q_1}{60 \cdot S} \right)^2 = \left( \frac{200}{60 \cdot 8} \right)^2 = 0,17 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

Так как  $V^2 = 0,17 < C_1 = 1,75$ , то возможно образование недопустимых объемных долей метана.

Если скачком восстановить прежний режим проветривания аварийного участка, то (ф. 45):

$$C_{\max} = C_1 \cdot \left( 2 - \frac{Q}{Q_1} \right) = 1,75 \cdot \left( 2 - \frac{200}{500} \right) = 2,8 \%$$

Таким образом, при полном восстановлении режима проветривания участка объемная доля метана в газовой волне превысит 2%. Поэтому расход воздуха следует увеличивать ступенчато с шагом, равным (ф. 46):

$$\Delta Q = \frac{1 - 0,5 \cdot C_1}{C_1 - 1} \cdot Q_1 = \frac{1 - 0,5 \cdot 1,75}{1,75 - 1} \cdot 200 = 33 \text{ м}^3/\text{мин}$$

## Приложение 1

Таблица 1

Значение коэффициента  $k_{\text{ут.в}}$ , учитывающего утечки воздуха через выработанное пространство

Схема вентиляции выемочного участка	Примыкание выработок выемочного участка с вентиляционной струей			Значение коэффициента, учитывающего утечки воздуха через выработанное пространство $k_{\text{ут.в}}$ , в зависимости от способа управления кровлей и от пород непосредственной кровли							
				полное обрушение			частичная закладка			плавное опускание	
	свежей	исходящей	подсвежающей	глинистые сланцы	песчаные сланцы	песчаники	глинистые сланцы	песчаные сланцы	песчаники	глинистые сланцы	песчаные сланцы
ВТ*	к целику	к целику	–	1,25	1,30	1,40	1,10	1,15	1,25	1,10	1,15
	к целику	к целику	к ВП	1,50	1,65	1,80	1,20	1,25	1,35	1,15	1,30
	к ВП**	к ВП	–	1,40	1,55	1,70	1,20	1,25	1,40	1,15	1,30

	к ВП	к ВП	к целику	1,55	1,70	1,80	1,20	1,25	1,40	1,15	1,30
ПТ*	к целику	к ВП	–	1,30	1,40	1,55	1,20	1,25	1,35	1,15	1,30
	к целику	к ВП	к целику	1,50	1,60	1,70	1,20	1,25	1,35	1,15	1,30
	к ВП	к целику	–	1,30	1,35	1,45	1,20	1,25	1,30	1,15	1,30
	к ВП	к целику	к ВП	1,50	1,55	1,65	1,20	1,25	1,35	1,15	1,30

\* – схемы вентиляции: ВТ – возвратноточная, ПТ – прямоточная;

\*\* – выработанное пространство.

## Практическая работа № 11

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЕГАЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА

**Цель:** Ознакомиться с методиками расчета параметров дегазационной системы аварийного участка

При авариях в газообильных шахтах, вызванных пожарами, внезапными прорывами метана из почвы пласта и суфлярными выделениями, задействование средств дегазации позволит снизить выделение метана из дегазуемых источников. В случае горения метановоздушной смеси в выработанном пространстве необходимо осуществлять дегазацию сближенных угольных пластов, залегающих в кровле на расстоянии до 40-50 вынимаемых мощностей пласта и в почве – до 30 м, при газовыделении из выработанного пространства более  $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $3 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) для схем с поддержанием вентиляционной выработки за лавой и более  $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $1,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) – с погашением. При распространении пожара в выработку с дегазационным трубопроводом возможны загорания и взрывы метано-воздушной смеси в нем, а также инициирование вторичных очагов пожара.

Усиление дегазации на аварийном участке обеспечивается следующими способами:

- включением на параллельную работу резервного вакуум-насоса;
- отключением или ослаблением дегазации на других выемочных участках, обслуживаемых той же дегазационной сетью, что и аварийный;
- бурением дополнительных дегазационных скважин из подземных выработок или с дневной поверхности;
- применением передвижной вакуумнасосной станции или установки, работающей на сеть только аварийного участка;
- прокладкой параллельных ветвей газопровода на участках сети, имеющих высокое аэродинамическое сопротивление, или заменой частей газопровода на трубы большего диаметра.

Действия по управлению дегазацией при пожаре в шахте определяются горнотехническими условиями на аварийном участке в соответствии с табл. 1 (прил. 1).

Возможность осуществления дегазации скважинами с поверхности зависит от глубины расположения аварийного участка, застроенности и рельефа поверхности, наличия энерго- и водоснабжения в районе бурения скважин.

Показателями эффективности примененного способа усиления дегазации или целесообразности дальнейшего осуществления дегазации на аварийном участке являются концентрация и расход метана в участковом газопроводе. Необходимо организовать

периодический контроль концентрации метана в участковом газопроводе. При ведении горноспасательных работ в выработке с газопроводом периодичность устанавливается старшим командиром ВГСЧ не реже чем через 30 минут. Для обеспечения безопасности контроля участок газопровод должен подключаться к сборному или магистральному посредством параллельного сборному (магистральному) отрезка газопровода длиной 2-3 метра с замерным устройством со стороны противоположной направлению движения исходящей из участка струи воздуха. Между замерным пунктом, КП и работающим в аварийной выработке отделением должна быть налажена связь.

В ситуациях, когда невозможно непосредственное измерение концентрации и расхода метановоздушной смеси (МВС) в газопроводе аварийного участка, организуется контроль во всасывающем патрубке вакуум-насосной станции. При неизменном режиме дегазации на других участках расход МВС определяется по соотношению:

$$Q_{ya} = Q_y \cdot \frac{Q_{pa}}{Q_p} \quad (1)$$

где  $Q_y, Q_{ya}$  – расход МВС по участковому газопроводу до и при аварии, м<sup>3</sup>/с;

$Q_p, Q_{pa}$  – расход МВС во всасывающем трубопроводе вакуум-насосной станции до и после усиления дегазации на аварийном участке, м<sup>3</sup>/с.

Концентрация метана  $C_{ya}$  определяется по формуле:

$$C_{ya} = C_y \cdot \left( 1 - b \cdot \frac{P_{\bar{\sigma}} - P_{pa}}{P_{\bar{\sigma}} - P_a} \right) \quad (2)$$

где  $C_y, C_{ya}$  – концентрация метана в участковом газопроводе до и при аварии, %;

$b$  – коэффициент, учитывающий подсосы воздуха через устья скважин; принимается равным 0,04 при охране скважин целиками и 0,06 – в остальных случаях;

$P_{\bar{\sigma}}$  – барометрическое давление на дневной поверхности, гПа;

$P_a, P_{pa}$  – абсолютное давление во всасывающем патрубке вакуум-насосов до и после осуществления усиления дегазации, гПа (определяется непосредственным измерением).

Для измерения концентрации метана рекомендуется применять интерферометр ШИ-12 или любой переносной метанометр с диапазоном до 100%, а расход МВС определять по перепаду давления на диафрагме или по скоростному напору, измеряемому с помощью трубки Пито. На вакуум-насосной станции снимаются показания со стационарных приборов контроля, при их отсутствии применяют переносные приборы.

При распространении пожара в выработку с дегазационным газопроводом необходимо организовать регулярный контроль содержания метана во всасывающем патрубке вакуум-насосов с периодичностью 5 минут. Отмеченное снижение концентрации метана в двух последовательных измерениях на 5% и более и ее последующее снижение свидетельствует о разгерметизации газопровода, поэтому необходимо отключить дегазацию на аварийном участке или по шахте в зависимости от функционального назначения газопровода и вида вентиляционной струи в аварийной выработке.

### 1. Требуемая производительность дегазационной системы аварийного участка

Пожар в выработанном пространстве обычно распространяется вдоль его протяженности не более чем на 40-60 м, а от вентиляционной выработки – примерно на  $\frac{1}{3}$  длины лавы. Назначение дегазации в аварийной обстановке – обеспечить снижение поступления метана из сближенных пластов до величины, при которой в указанной зоне концентрация метана должна быть ниже взрывоопасной т. е. менее 4,3%.

#### Исходные данные:

$\bar{f}$  – средневзвешенная крепость пород на высоте до 8 вынимаемых мощностей пласта;

$S_{оч}$  – площадь поперечного сечения очистного забоя, м<sup>2</sup>.

$C_n$  – характерная для конкретного выемочного участка концентрация метана в утечках воздуха через выработанное пространство вблизи лавы, измеряемая за посадочной крепью у обрушенных пород вблизи вентиляционной выработки, %;

$Q_\phi$  – объем метановоздушной смеси, извлекаемый до возникновения пожара, м<sup>3</sup>/с;

$C_2$  – концентрация метана в дегазационном газопроводе аварийного участка, %.

$I_в$  – газовыделение из выработанного пространства на аварийном участке без дегазации (принимается по данным вентиляционной службы шахты), м<sup>3</sup>/с.

#### **Порядок расчета**

1. Объем метана  $I_u$ , который необходимо извлекать средствами дегазации определяется по формуле:

$$I_u = 0,01 \cdot C_u \cdot Q_1 \cdot (k_p - 1) \quad (3)$$

где  $Q_1$  – расход воздуха в исходящей струе лавы, м<sup>3</sup>/с;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через взрывоопасный участок выработанного пространства; при отсутствии опытных данных ориентировочно принимается для опасных зон протяженностью 60, 50 и 40 м соответственно:

$$k_p^{60} = 0,95 \cdot k_{ум.в} \quad (4)$$

$$k_p^{50} = 0,9 \cdot k_{ум.в} \quad (5)$$

$$k_p^{40} = 0,85 \cdot k_{ум.в} \quad (6)$$

$k_{ум.в}$  – коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство, зависит от схемы проветривания, коэффициента крепости пород кровли и площади поперечного сечения лавы; принимается по номограмме (рис. 1).

$\bar{f}$  – средневзвешенная крепость пород на высоте до 8 вынимаемых мощностей пласта (принимается для аргиллитов – 3, алевролитов и песчаников – 5, известняков – 8);

$S_{оч}$  – площадь поперечного сечения очистного забоя, м<sup>2</sup>.

$C_u$  – величина, на которую необходимо снизить концентрацию метана в опасной по взрывам зоне, %; определяется как разность между значениями средней и допустимой концентрациями, т.е.:

$$C_u = C_{сп} - C_d \quad (7)$$

где  $C_{cp}$  – средняя концентрация метана в зоне выработанного пространства, прилегающей к вентиляционной выработке при ее поддержании за лавой. На расстояниях 40, 50 и 60 м принимается равной, в %:

$$C_{cp}^{40} = C_n + 2,7 \quad (8)$$

$$C_{cp}^{50} = C_n + 5,0 \quad (9)$$

$$C_{cp}^{60} = C_n + 6,8 \quad (10)$$

$C_n$  – характерная для конкретного выемочного участка концентрация метана в утечках воздуха через выработанное пространство вблизи лавы, измеряемая за посадочной крепью у обрушенных пород вблизи вентиляционной выработки, %;

$C_d$  – допустимая концентрация метана в опасной по распространению пожара зоне выработанного пространства по условию взрывоопасности, %:

$$C_d = \frac{C_n + 4,3}{2} \quad (11)$$

При значениях  $C_n > 4,3$ , характерных для схем отработки с погашением вентиляционной выработки за лавой, значение  $C_d$  принимается равным 4,3, а  $C_u = 1,5 \cdot C_n$ ;  $C_u = 2,0 \cdot C_n$ ;  $C_u = 2,5 \cdot C_n$  соответственно для хорошо, средне и слабо уплотняющихся пород кровли (аргиллит → алевролит → песчаник).

2. Расчетный расход метановоздушной смеси, который необходимо извлекать на аварийном участке для предотвращения образования взрывоопасной концентрации метана в выработанном пространстве, определяется по формуле:

$$Q_p = Q_\phi + \frac{100}{C_2 \cdot I_u} \quad (12)$$

где  $Q_\phi$  – объем метановоздушной смеси, извлекаемый до возникновения пожара, м<sup>3</sup>/с;  
 $C_2$  – концентрация метана в дегазационном газопроводе аварийного участка, %.

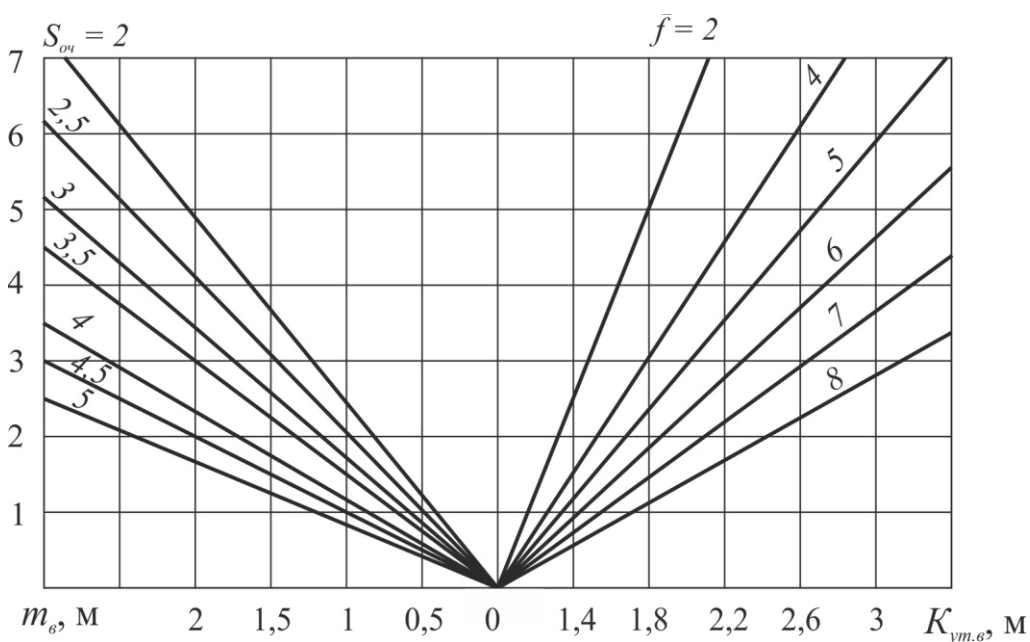


Рис. 1. Номограмма для определения  $k_{ум.в}$

Если до возникновения аварии дегазация не производилась, то значение  $Q_p$  определяется двумя путями:

а) из условия предотвращения образования взрывоопасной концентрации по формуле:

$$Q_{p1} = 0,01 \cdot C_{см} \cdot I_u \quad (13)$$

где  $C_{см}$  – концентрация метана в извлекаемой при помощи скважин метановоздушной смеси; принимается равной 60% – при охране устьев скважин целиками угля; 45% – бутовыми полосами; 30% – при охране «кострами» и без охраны; 70-80% – при дегазации скважинами с поверхности.

б) из условия обеспечения технически достижимой эффективности дегазации на аварийном участке:

$$Q_{p2} = \frac{100}{C_{см}} \cdot I_g \cdot k_{да} \cdot k_{ва} \quad (14)$$

где  $I_g$  – газовыделение из выработанного пространства на аварийном участке без дегазации (принимается по данным вентиляционной службы шахты), м<sup>3</sup>/с;

$k_{да}$  – максимально возможная эффективность дегазации; принимается из табл. 1.

$k_{ва}$  – коэффициент прироста газовыделения на участке вследствие дегазации; при подземной дегазации определяется по формуле:

$$k_{ва} = \frac{1,06 - k_{да}}{1 - k_{да}} \quad (15)$$

при дегазации с поверхности  $k_{ва} = 1,2$  или  $1,3$ .

Таблица 1

## Максимальная эффективность дегазации сближенных пластов

Система разработки	Способ охраны выработок, из которых бурят скважины	Максимальная эффективность дегазации пластов	
		подрабатываемых	надрабатываемых
Дегазация из подземных выработок			
Столбовая, комбинированная с погашением выработки, из которой бурят скважины		0,5	0,4
Столбовая, комбинированная с поддержанием выработки, из которой бурят скважины	Целиками угля	0,8-0,9	0,8
	Бутовыми полосами	0,7	0,6
	Костровой крепью	0,6	0,5
Дегазация с поверхности			
Любая		0,6	

За расчетное значение  $Q_p$  принимается большая из полученных величин. Затем руководителем ликвидации аварии по результатам расчетов, представленных группой экспертов, принимается решение о задействовании мероприятий по усилению дегазации на аварийном участке либо по ее осуществлению, для чего организуется снабжение необходимым оборудованием, материалами, проводятся технические работы и решаются вопросы безопасности работ по налаживанию дегазации.

**Пример.** Рассчитать производительность дегазационной системы на аварийном участке при следующих исходных данных:  $S_{оч} = 3 \text{ м}^2$ ;  $m = 0,9 \text{ м}$ ;  $\bar{f} = 5$  (непосредственная кровля – алевролит);  $C_n = 3,5\%$ ;  $Q_{ф} = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $C_z = 50\%$ .

**Решение.**

1. Согласно номограмме (рис. 2) коэффициент, учитывающий утечки воздуха через выработанное пространство, равен  $k_{ум.в} = 1,52$ .

Коэффициент, учитывающий утечки воздуха через взрывоопасный участок выработанного пространства; при отсутствии опытных данных ориентировочно принимается для опасных зон протяженностью 60, 50 и 40 м соответственно (ф. 4-6):

$$k_p^{60} = 0,95 \cdot k_{ум.в} = 0,95 \cdot 1,52 = 1,44$$

$$k_p^{50} = 0,9 \cdot k_{ум.в} = 0,9 \cdot 1,52 = 1,37$$

$$k_p^{40} = 0,85 \cdot k_{ум.в} = 0,85 \cdot 1,52 = 1,29$$

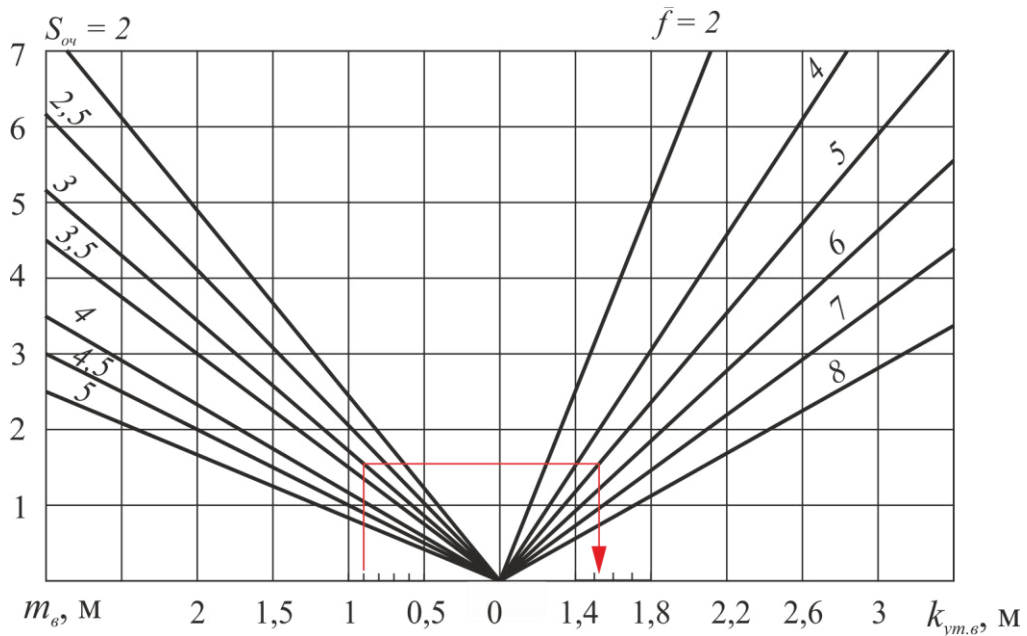


Рис. 2. Номограмма для определения  $k_{ум.в}$

Средняя концентрация метана в зоне выработанного пространства, прилегающей к вентиляционной выработке при ее поддержании за лавой. На расстояниях 40, 50 и 60 м принимается равной (ф. 8-10):

$$C_{ср}^{40} = C_n + 2,7 = 3,5 + 2,7 = 6,2 \text{ \%}$$

$$C_{ср}^{50} = C_n + 5,0 = 3,5 + 5,0 = 8,5 \text{ \%}$$

$$C_{ср}^{60} = C_n + 6,8 = 3,5 + 6,8 = 10,3 \text{ \%}$$

Допустимая концентрация метана в опасной по распространению пожара зоне выработанного пространства по условию взрывоопасности (ф. 11):

$$C_0 = \frac{C_n + 4,3}{2} = \frac{3,5 + 4,3}{2} = 3,9 \text{ \%}$$



Величина, на которую необходимо снизить концентрацию метана в опасной по взрывам зоне; определяется как разность между значениями средней и допустимой концентрациями (для  $C_p^{60} = 10,3\%$ ) (ф. 7):

$$C_u = C_{cp} - C_o = 10,3 - 3,9 = 6,4 \text{ \%}$$

Объем метана  $I_u$ , который необходимо извлекать средствами дегазации (при  $k_p^{60} = 1,44$ ) (ф. 3):

$$I_u = 0,01 \cdot C_u \cdot Q_1 \cdot (k_p - 1) = 0,01 \cdot 6,4 \cdot 18 \cdot (1,44 - 1) = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Расчетный расход метановоздушной смеси, который необходимо извлекать на аварийном участке для предотвращения образования взрывоопасной концентрации метана в выработанном пространстве (ф. 12):

$$Q_p = Q_\phi + \frac{100}{C_z \cdot I_u} = 0,1 + \frac{100}{50 \cdot 0,51} = 4,01 \text{ м}^3/\text{с}$$

## 2. Оценка газовой обстановки на выемочных участках после отключения дегазации

Отключение дегазации или уменьшение количества извлекаемого дегазацией метана на аварийном участке может привести к повышению содержания метана в исходящей струе до недопустимого или взрывоопасного значения, а также к образованию его слоевых скоплений. При схемах проветривания с выдачей исходящей струи на выработанное пространство опасные по местным и слоевым скоплениям метана зоны могут находиться на расстоянии до 200 м и более за лавой, а при схемах с выдачей исходящей струи на массив угля и погашении вентиляционной выработки – тупике погашения и впереди лавы на участке протяженностью до 20-30 м до полного смешения исходящей из лавы струи и утечек воздуха из тупика. Оценка газовой обстановки на аварийном участке после отключения дегазации должна производиться по двум показателям: по среднему содержанию метана в исходящей струе и по максимальной концентрации под кровлей, в том числе, с проверкой образования взрывоопасных скоплений метана.

### Исходные данные:

$C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$Q$  – расход воздуха на участке до аварии, м<sup>3</sup>/мин;

$I_o$  – общая газообильность участка при аварии, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{60}$  – газовыделение из выработанного пространства в нормальном режиме дегазации, м<sup>3</sup>/мин;

$M$  – расстояние от кровли разрабатываемого пласта до наиболее мощного сближенного подрабатываемого пласта в диапазоне от 4-6 до 30 вынимаемых мощностей пласта, м;

$h$  – средняя высота вентиляционной выработки на ее участке от 20 до 50 м от лавы, м;

$S$  – средняя площадь поперечного сечения выработки на этом участке, м<sup>2</sup>;

$S_T$  – площадь поперечного сечения тупика погашаемой за лавой вентиляционной выработки, м<sup>2</sup>.

### **Порядок расчета**

Величина дополнительного газовыделения на участке после отключения дегазации определяется по формуле:

$$\Delta I = \frac{I_o}{k_{ва}} \quad (16)$$

где  $I_o$  – объем метана, извлекаемый дегазацией на аварийном участке до ее отключения, м<sup>3</sup>/мин (определяется по данным «Книги учета работы дегазационных скважин»);

$k_{ва}$  – коэффициент, учитывающий прирост газовыделения из дегазируемых сближенных пластов (см. ПР11.1, ф. 15).

Средняя по сечению вентиляционной выработки концентрация метана в исходящей струе участка определяется по формуле:

$$C_c = C_o + 100 \cdot \frac{I_o + \Delta I}{Q} \quad (17)$$

где  $C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$Q_a$  – расход воздуха на участке до аварии, м<sup>3</sup>/мин;

$I_o$  – общая газообильность участка при аварии, м<sup>3</sup>/мин.

Для нахождения максимальной концентрации метана предварительно определяется доля газовыделения из выработанного пространства после изменения режима дегазации:

$$n_g = \frac{I_{го} + \Delta I}{I_o + \Delta I} \quad (18)$$

где  $I_{го}$  – газовыделение из выработанного пространства в нормальном режиме дегазации, м<sup>3</sup>/мин.

и находится расстояние (м) от забоя лавы до места максимума газовыделения из подрабатываемых пластов по формуле:

$$L_m = k \cdot M + 3,3 \quad (19)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, принимаемый равным 0,9; 1,5; 1,8; 1,9 при скоростях подвигания лавы до аварии соответственно 1; 2; 3; 4 м/сут, а для промежуточных значений скорости – линейным интерполированием.

Максимально ожидаемая концентрация метана под кровлей вентиляционной выработки определяется по формуле:

$$C_m = C_c \cdot \left( 1 - \frac{10 \cdot n_g \cdot h}{L_m} \right) \quad (20)$$

где  $h$  – средняя высота вентиляционной выработки на ее участке от 20 до 50 м от лавы, м.

Это выражение справедливо при расходе воздуха по выработке, удовлетворяющем условию:

$$Q_a > 60 \cdot S \cdot \sqrt{C_c} \quad (21)$$

В противном случае на протяжении выработки возможно образование взрывоопасных концентраций метана, особенно в местах резкого увеличения площади поперечного сечения выработки.

Для определения максимально ожидаемой концентрации метана в тупике погашаемой вслед за лавой вентиляционной выработки предварительно по формуле вычисляется промежуточная величина  $N$ :

$$N = \frac{Q}{36} \quad (22)$$

затем, пользуясь значениями величин  $I_{en} = I_{eo} + \Delta I$ ;  $I_o$ ;  $S_T$  и  $N$ , ходом ключа, представленного на номограмме (рис. 2), на исходящей оси отсчитывается прогнозируемая величина  $C_m^T$ .

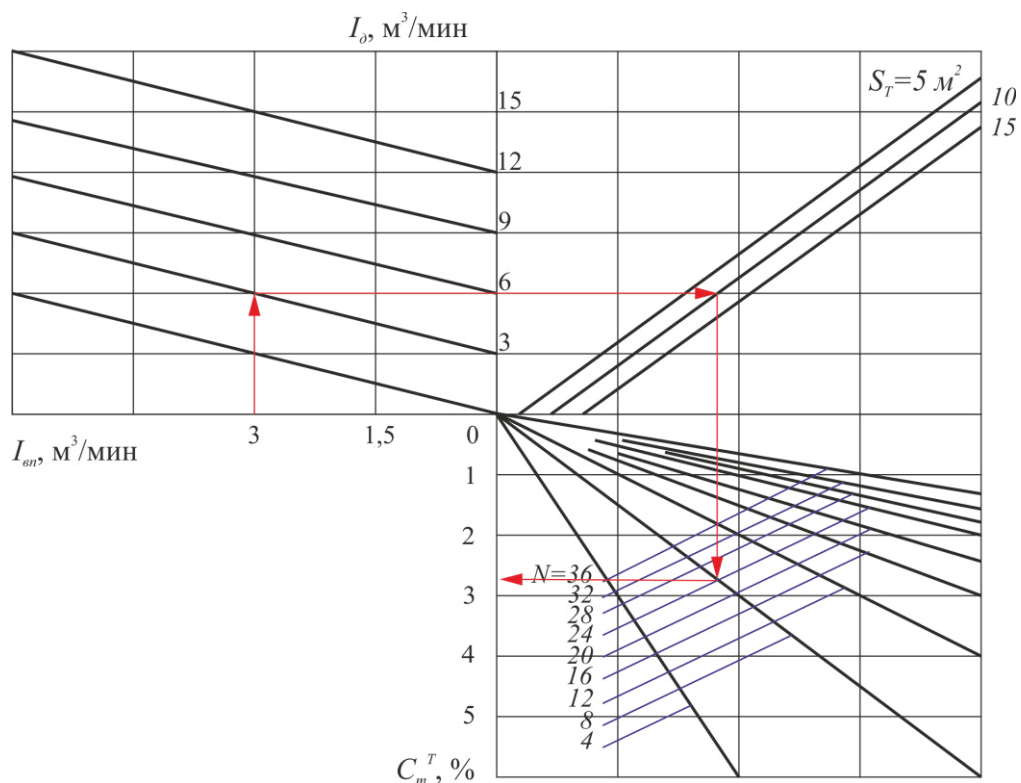


Рис. 2. Номограмма для определения  $C_m^T$ .

**Пример.** Определить максимально ожидаемую концентрацию метана в тупике погашаемой вслед за лавой вентиляционной выработки при следующих исходных данных:  $C_o = 0,1\%$ ;  $Q_a = 1080$  м³/мин;  $I_o = 3,8$  м³/мин;  $I_{eo} = 2,1$  м³/мин;  $M = 25 \cdot m$ , м;  $m = 0,9$  м;  $h = 3$  м;  $S = S_T = 9$  м².

**Решение.**

Величина дополнительного газовыделения на участке после отключения дегазации (ф. 15-16):

$$k_{ea} = \frac{1,06 - k_{da}}{1 - k_{da}} = \frac{1,06 - 0,6}{1 - 0,6} = 1,15$$

$$\Delta I = \frac{I_d}{k_{ea}} = \frac{2,3}{1,15} = 2 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Средняя по сечению вентиляционной выработки концентрация метана в исходящей струе участка (ф. 17):

$$C_c = C_o + 100 \cdot \frac{I_o + \Delta I}{Q} = 0,1 + 100 \cdot \frac{3,8 + 2}{1080} = 0,64 \%$$

Доля газовыделения из выработанного пространства после изменения режима дегазации (ф. 18):

$$n_e = \frac{I_{eo} + \Delta I}{I_o + \Delta I} = \frac{2,1 + 2}{3,8 + 2} = 0,71$$

и расстояние (м) от забоя лавы до места максимума газовыделения из подрабатываемых пластов (ПР10.1; при  $V = 40$  м/мес суточная скорость подвигания лавы составит 1,3 м, а  $k = 1,08$ ) (ф. 19):

$$L_m = k \cdot M + 3,3 = 1,08 \cdot 22,5 + 3,3 = 27,6 \text{ м}$$

Максимально ожидаемая концентрация метана под кровлей вентиляционной выработки (ф. 20):

$$C_m = C_c \cdot \left(1 - \frac{10 \cdot n_e \cdot h}{L_m}\right) = 0,64 \cdot \left(1 - \frac{10 \cdot 0,71 \cdot 3}{27,6}\right) = 0,15 \%$$

Это выражение справедливо при расходе воздуха по выработке, удовлетворяющем условию (ф. 21):

$$Q_a > 60 \cdot S \cdot \sqrt{C_c} \rightarrow 1080 > 60 \cdot 9 \cdot \sqrt{0,15} = 431 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Для определения максимально ожидаемой концентрации метана в тупике погашаемой вслед за лавой вентиляционной выработки предварительно по формуле вычисляется промежуточная величина  $N$  (ф. 22):

$$N = \frac{Q}{36} = \frac{1080}{36} = 30$$

По номограмме (рис. 3) максимально ожидаемая концентрация метана в тупике погашаемой вслед за лавой вентиляционной выработки составит  $C_m^T = 2,2\%$ .

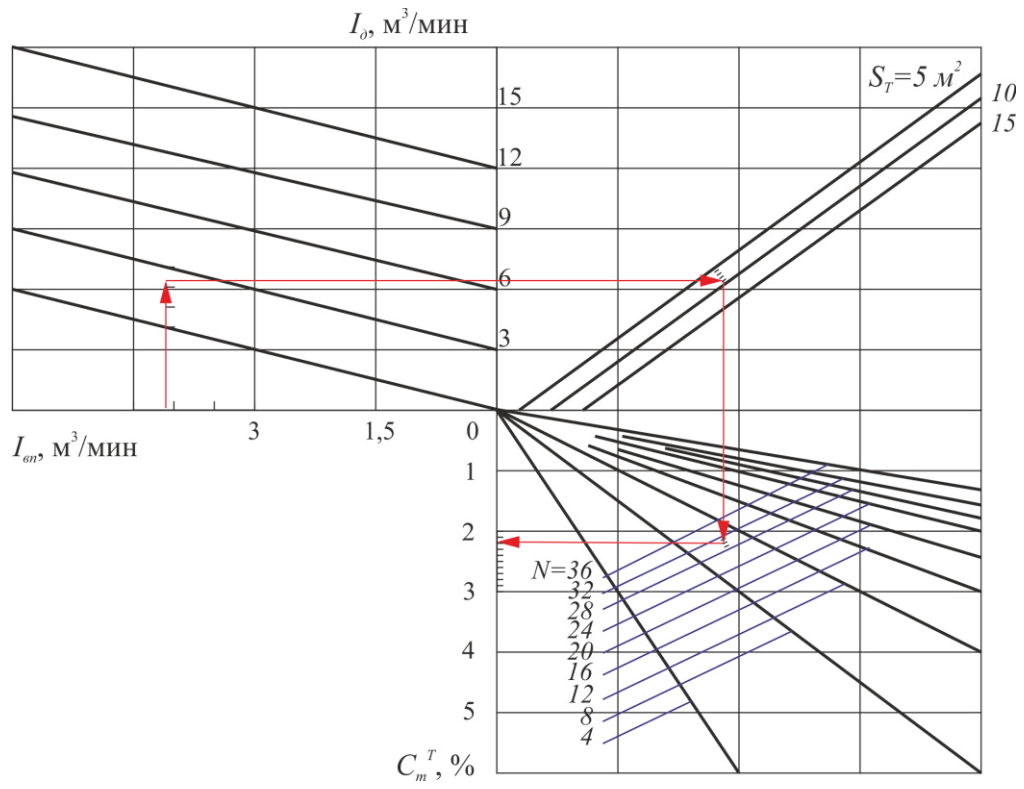


Рис. 3. Номограмма для определения  $C_m^T$ .

## Приложение 1

Таблица 1

## Условия работы и отключения подземной дегазации при пожаре в горной выработке

Место пожара	Наличие газопровода	Коэффициент дегазации	Концентрация метана в газопроводе, % об.	Возможность усиления проветривания аварийного участка	Рекомендуемый режим дегазации
1. Дегазация работает					
В выработке с исходящей струей воздуха	нет	не ограничен	не ограничена	не ограничена	усиленный на участках, проветриваемых на эту выработку
В выработках с исходящей струей воздуха	есть	более или равен 0,3	более или равна 25	исключена	усиленный или нормальный
В призабойном или выработанном пространстве	нет	не ограничен	не ограничена	не ограничена	усиленный
В любой выработке за пределами дегазируемого выемочного участка	нет	не ограничен	не ограничена	не ограничена	усиленный на участках, куда может распространиться пожар
2. Дегазацию отключают					
В выработке с поступающей струей воздуха	есть	не ограничен	не ограничена	исключена	осуществлять дегазацию с дневной поверхности или из неаварийной выработки
В выработке с исходящей струей воздуха	есть	менее 0,3	менее 25	есть/нет	

## Практическая работа № 12

### КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛИРОВАННОГО УЧАСТКА

**Цель:** ознакомиться с методиками расчета параметров изоляции аварийных участков

#### *Основные требования к перемычкам, возводимым в горных выработках*

По функциональному назначению и сроку службы изолирующие перемычки условно разделяются на временные, постоянные, взрывоустойчивые и водоупорные.

#### *Временные перемычки*

На газовых шахтах в качестве временных перемычек используются чураковые, бетонитовые, гипсовые и пенопластовые, а на негазовых, кроме указанных, могут возводиться щитовые и комплектные перемычки.

Чураковые перемычки возводятся на срок до одного года в выработках с повышенным горным давлением, с площадью поперечного сечения не более  $9 \text{ м}^2$  и с углом наклона до  $12^\circ$ .

Бетонитовые перемычки целесообразно возводить в выработках, не подверженных большому горному давлению, и в местах, где может быть организован систематический контроль за состоянием перемычек. Их толщина обычно не менее чем 1,5 бетонита.

Гипсовые перемычки возводятся при помощи агрегатов «Монолит», «Пневмолит» и «Темп». Рекомендуется следующая толщина перемычек: 0,8 м для сечения  $4-6 \text{ м}^2$ ; 1,0 м для сечения  $6-12 \text{ м}^2$ ; 1,2 м для сечения  $12-20 \text{ м}^2$ .

Пенопластовые перемычки представляют собой эластичную и податливую конструкцию, состоящую из ограждающих деревянных или разборных металлических щитов, пространство между которыми шириной от 0,8 до 1,2 м заполняется твердеющей пеной.

Щитовые изолирующие перемычки целесообразно применять в выработках при притоке воды более  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Тело перемычки из досок внахлест и контакт с породой по периметру должны промазываться глиной или покрываться латексом, пенопластом.

#### *Постоянные перемычки*

Постоянные перемычки возводятся для изоляции выработок, пройденных или вскрывающих пласты угля, склонного к самовозгоранию, из негорючего материала: кирпича, бетонита, бетона и бетонита с заполнением пенопластом. На пластах угля, не склонного к самовозгоранию, постоянные перемычки допускается возводить из чураков.

Бетонитовые перемычки возводятся шириной в 2,5-3 бетонита обычно для изоляции отработанных выемочных участков, крыльев и горизонтов шахт с действующими пожарами.

Двойные бетонитовые перемычки с заполнением пенопластом рекомендуются для изоляции отработанных выемочных участков, панелей и крыльев шахт на угольных пластах, опасных по самовозгоранию.

Бетонные перемычки возводятся для изоляции отработанных участков обычно редко, главным образом при наличии вблизи шахты бетонного завода.

Перемычки с подыливанием рекомендуется применять для изоляции отработанных участков и горизонтов на пластах угля, склонного к самовозгоранию.

#### *Взрывоустойчивые перемычки*

Взрывоустойчивые перемычки возводятся на участках выработок с наиболее устойчивыми породами на безопасном расстоянии.

Гипсовые и бетонные взрывоустойчивые перемычки предназначены для изоляции участков с действующим пожаром. Рекомендуется применять пластифицированный или строительный гипс не ниже первого сорта. Параметры перемычек должны выбираться по нижеприведенной таблице.

Шпренгельные перемычки используются для локализации ударной волны и фронта пламени взрыва в изолированном участке. Расстояние между гасящей и изолирующей перемычками не должно превышать значения трех приведенных диаметров  $d_{np}$  выработки:

$$d_{np} = \frac{4 \cdot S}{P} \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки в свету,  $m^2$ ;

$P$  – периметр выработки в свету, м.

Барьерные перемычки применяются при наличии в кровле легко обрушающихся пород. Породный барьер из обрушенного массива создают на расстоянии не менее 15-20 м от изолирующей перемычки. Длина его должна быть не менее двукратного значения поперечного сечения выработки в свету, но не менее 10 м.

Таблица 1

Параметры гипсовых и бетонных взрывоустойчивых перемычек

Площадь поперечного сечения горной выработки, (вчёрне), $m^2$	Толщина перемычки $\Psi$ и расход сухого гипсового вяжущего $q$ при пределе прочности материала моноблока перемычки			
	не менее 3 МПа		не менее 9 МПа	
	$\Psi$ , м	$q$ , т	$\Psi$ , м	$q$ , т
4	1,6	8	1,0	6
5	1,8	11	1,1	8
6	2,0	15	1,2	11
7	2,2	19	1,3	14
8	2,3	23	1,4	17
9	2,5	28	1,5	20
10	2,6	33	1,6	24
12	2,8	42	1,7	31
14	3,1	55	1,8	38
16	3,3	67	1,9	46
18	3,5	80	2,0	54
20	3,6	91	2,1	63
22	3,8	106	2,2	73
24	4,0	121	2,3	83
26	4,2	138	2,4	94
28	4,3	152	2,5	105
30	4,5	171	2,6	117



### Водоупорные перемычки

Водоупорные перемычки сооружаются при тушении подземных пожаров подтоплением и в случае прорыва воды в горные выработки.

Водоупорные перемычки могут быть клинчатыми (рис. 1) и цилиндрическими (рис. 2).

Клинчатые перемычки должны сооружаться при ожидаемом напоре воды не выше 1 МПа. Клиннообразный вруб перемычки расширенной частью должен располагаться в сторону изолируемого пространства. В нижней части перемычки заделывается труба с задвижкой диаметром 100-150 мм для стока воды, а на уровне  $\frac{2}{3}$  высоты выработки от почвы – диаметром 50-100 мм с манометром и задвижкой для контроля за уровнем воды в изолируемом участке.

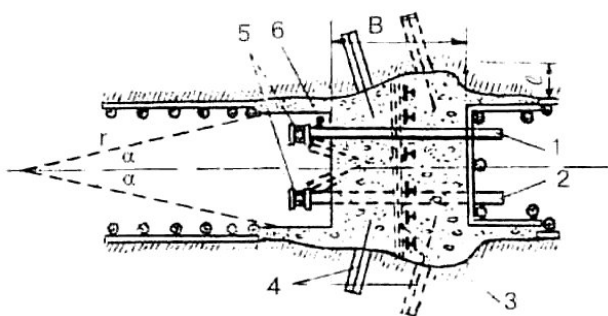


Рис. 1. Клинчатая водоупорная перемычка:  
1,2 – трубы; 3 – рельс; 4 – металлические стержни; 5 – задвижка; 6 – манометр.

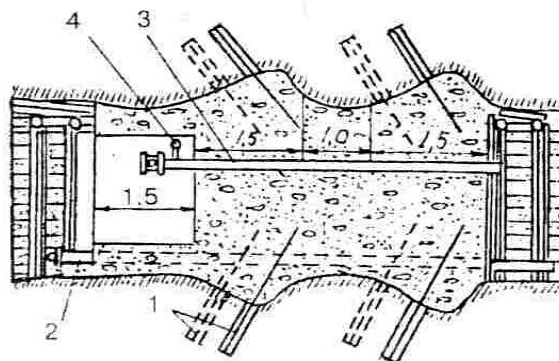


Рис. 2. Цилиндрическая водоупорная перемычка: 1 – металлические штыри; 2 – труба для спуска воды; 3 – труба для выхода избыточного воздуха при подъеме уровня воды; 4 – манометр.

Толщина клинчатой перемычки должна приниматься по условию прочности ее материала на сжатие по формуле:

$$B_{сж} = \frac{a+b}{4 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot \left( \sqrt{\frac{4 \cdot \lambda \cdot P_{ab}}{m \cdot R_{\sigma} \cdot (a+b)^2} + 1} - 1 \right) \quad (2)$$

где  $B_{сж}$  – толщина перемычки, м;

$a$  – ширина горной выработки, м;

$b$  – высота выработки, м;

$\alpha$  – угол наклона боковых граней перемычки к горизонтальной оси, обычно  $\alpha = 12^\circ$ ;

$\lambda$  – коэффициент перегрузки, учитывающий колебания уровня подземных вод и содержание в них илистых частиц ( $\lambda=1,2-1,3$ );

$P$  – предполагаемое гидравлическое давление воды на перемычку, МПа;

$m$  – 0,5-0,6 – коэффициент, учитывающий специфические условия подземных работ;

$R_{\sigma}$  – предел прочности бетона на сжатие, МПа.

Полученный результат должен проверяться по прочности на срез по формуле:

$$B_{cp} = \frac{\lambda \cdot P_{ab}}{2 \cdot (a+b) \cdot m \cdot \tau_{\sigma}} \quad (3)$$

где  $\tau_{\sigma}$  – сопротивление бетона на срез, МПа

и по водопроницаемости по формуле:

$$B_e = 4800 \cdot K \cdot P_{ae} \quad (4)$$

где  $K = 0,00001-0,000035$  – коэффициент водопроницаемости бетона (коэффициент фильтрации)

Толщина перемычки должна приниматься по наибольшему из расчетных значений.

Ширина заделки перемычки в горные выработки определяется по формуле:

$$I = B \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

где  $B$  – толщина перемычки, м

Цилиндрические водоупорные перемычки применяются при ожидаемом давлении более 1 МПа.

Толщина цилиндрической перемычки определяется по формуле:

$$B_{ц} = \frac{a}{2 \cdot \left( \frac{n \cdot \sigma_{сж}}{P} - 1 \right) \cdot \sin \alpha} \quad (6)$$

где  $n$  – число врубов (цилиндров);

$\sigma_{сж}$  – допустимое напряжение при сжатии при сжатии материала перемычки, МПа;

$\alpha$  – угол наклона опорных плоскостей перемычки к оси выработки, при устойчивых породах –  $\alpha = 30^\circ$ , при менее устойчивых –  $\alpha = 20^\circ$ .

*1. Определение минимально необходимой подачи воздуха при изоляции аварийного участка*

Исходные данные для расчета

$Q_I$  – расход воздуха на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин;

$Q_{л1}$  – расход воздуха в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$I_{оч}$  – газообильность очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{уч}$  – газообильность выемочного участка, м<sup>3</sup>/мин.

$S_l$  – площадь поперечного сечения лавы, м<sup>2</sup>;

$h_l$  – высота лавы, м.

**Порядок расчета**

Определяется скорость, м/с, исходящей струи лавы до изменения режима проветривания:

$$V_{л1} = \frac{Q_{л1}}{60 \cdot S_{л}} \quad (7)$$

где  $Q_{л1}$  – расход воздуха в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

$S_{л}$  – площадь поперечного сечения лавы, м<sup>2</sup>

Устанавливается среднее содержание метана, %, в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания:

$$C_{л1} = C_o + 100 \cdot \frac{I_{оч}}{Q_{л1}} \quad (8)$$

где  $C_o$  – концентрация метана в поступающей на участок струе воздуха, %;

$I_{оч}$  – газообильность очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин

По номограмме (рис. 3) с использованием данных  $V_{л1}$ ,  $h_{л}$  и  $C_{л1}$  определяется допустимая глубина регулирования или кратность изменения потерь воздуха в лаве.

Если на номограмме кривая, соответствующая значению  $C_{л1}$ , находится выше горизонтальной линии, то допустимая глубина регулирования подачи воздуха в лаве  $k_{л} < 1$ . В этом случае при наличии пожара в верхней части лавы или около нее на вентиляционном штреке уменьшать расход воздуха нельзя.

Определяется допустимая глубина регулирования подачи воздуха на участке:

$$k_{уч} = a \cdot \left[ \frac{(2 - C_o) \cdot Q_1}{100 \cdot I_{уч}} - 1 \right] + b \quad (9)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, размер которых зависит от продолжения проветривания в новом режиме;

$Q_1$  – расход воздуха на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин;

$I_{уч}$  – газообильность выемочного участка, м<sup>3</sup>/мин.

При продолжительности проветривания в новом режиме до 5 ч, равной, к примеру, продолжительности ведения изоляционных работ, коэффициенты равны:

$$a = \frac{Q_{л1} \cdot I_{оч}}{Q_{л} \cdot I_{оч}}, b = 1 \quad (10)$$

При изменении режима проветривания на время, превышающее 5 ч:  $a = b = 1$ ; для реверсивного режима проветривания:  $a = 1, b = 0$ .

Из двух значений  $k_{л}$  и  $k_{уч}$  выбирается меньшее и определяется минимально необходимый расход воздуха  $Q_2$  на аварийном участке:

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\min(k_{л}; k_{уч})} \quad (11)$$

При пожаре в нижней части лавы или в откаточном штреке расчет необходимой подачи воздуха производится по ф. 3 и 5, поскольку возможное образование слоевых скоплений метана на вентиляционном штреке не приведет к взрыву газозадушной смеси.

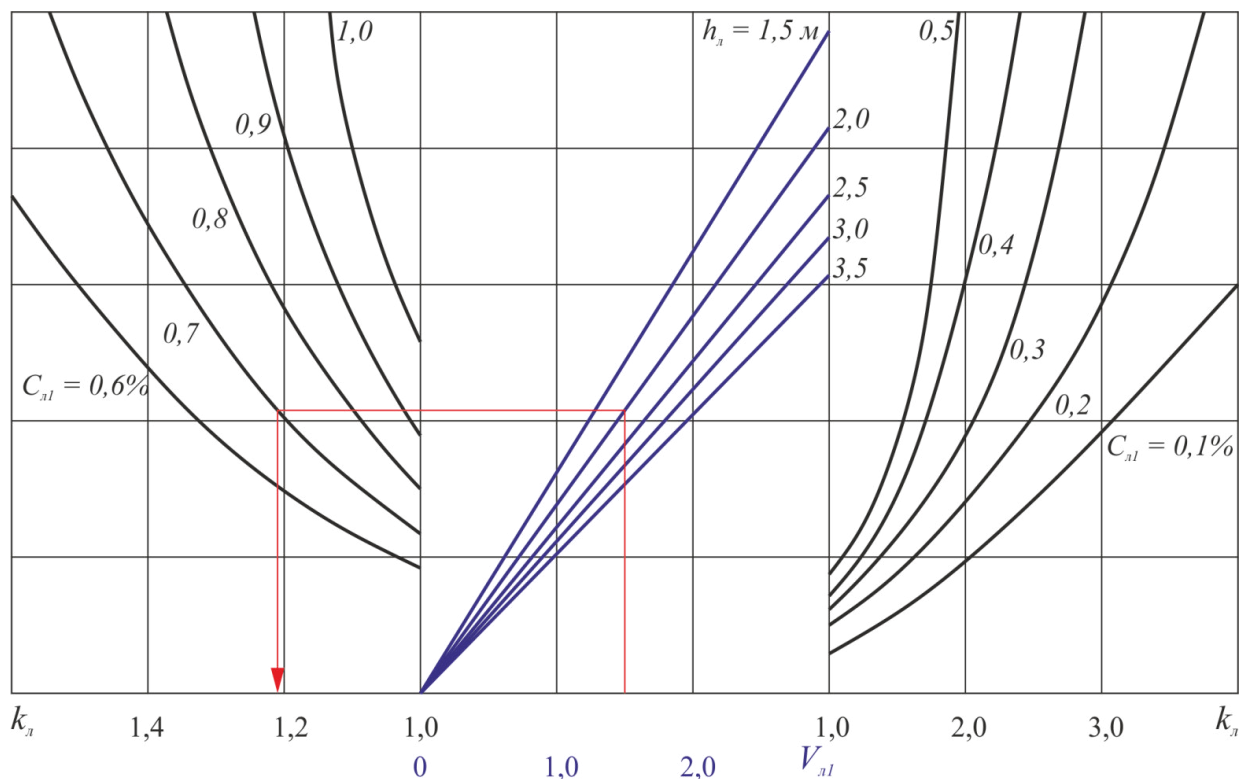


Рис. 3. Номограмма для определения глубины регулирования потерь воздуха в горной выработке

**Пример.** Определить минимально необходимую подачу воздуха при изоляции аварийного участка при следующих исходных данных:  $Q_I = 422 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $Q_{nl} = 384 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $C_o = 0,1 \%$ ;  $I_{oc} = 2,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $I_{yc} = 3,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;  $S_n = 3,2 \text{ м}^2$ ;  $h_n = 1,2 \text{ м}$ . Время с момента изменения режима проветривания до закрытия проемов в перемычках более 5 ч, пожар возник в верхней части лавы.

**Решение.**

Скорость исходящей струи лавы до изменения режима проветривания (ф. 7):

$$V_{nl} = \frac{Q_{nl}}{60 \cdot S_n} = \frac{384}{60 \cdot 3,2} = 2 \text{ м/с}$$

где  $Q_{nl}$  – расход воздуха в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$S_n$  – площадь поперечного сечения лавы,  $\text{м}^2$

Среднее содержание метана, %, в исходящей струе лавы до изменения режима проветривания (ф. 8):

$$C_{nl} = C_o + 100 \cdot \frac{I_{oc}}{Q_{nl}} = 0,1 + 100 \cdot \frac{2,4}{384} = 0,73 \%$$

По номограмме (рис. 4) при  $V_{л1} = 2$  м/с,  $h_{л1} = 1,2$  м и  $C_{л1} = 0,73\%$  допустимая глубина регулирования или кратность изменения потерь воздуха в лаве  $k_{л1} = 1,335$  ( $h_{л1}$  принято равным 1,5 м).

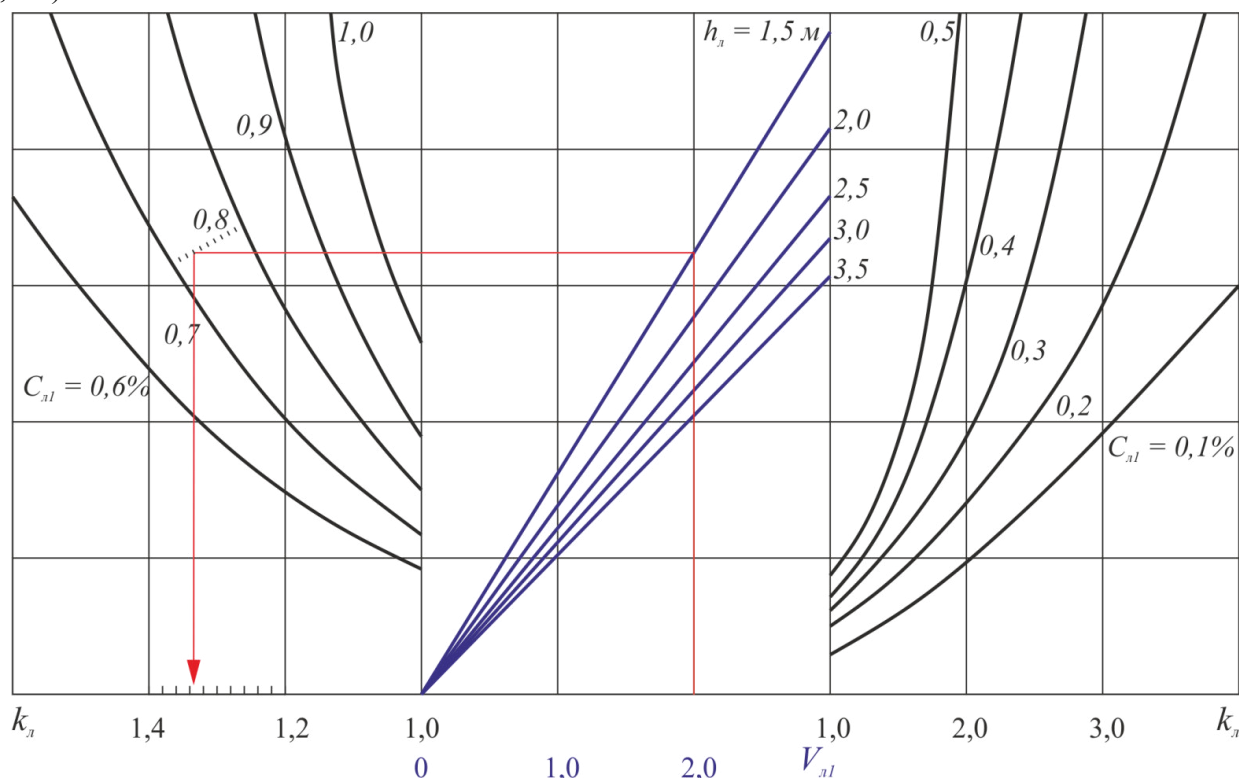


Рис. 4. Номограмма для определения глубины регулирования потерь воздуха в горной выработке при  $V_{л1} = 2$  м/с,  $h_{л1} = 1$  м и  $C_{л1} = 0,45\%$

Допустимая глубина регулирования подачи воздуха на участке (ф. 9):

$$k_{уч} = a \cdot \left[ \frac{(2 - C_o) \cdot Q_1}{100 \cdot I_{уч}} - 1 \right] + b = 1 \cdot \left[ \frac{(2 - 0,1) \cdot 422}{100 \cdot 3,4} - 1 \right] + 1 = 2,4$$

Минимально необходимый расход воздуха на аварийном участке (ф. 11):

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\min(k_{л1}; k_{уч})} = \frac{422}{1,335} = 316 \text{ м}^3/\text{мин}$$

## 2. Определение утечек воздуха через аварийный участок

### Исходные данные для расчета

$h_1$  – депрессия аварийного участка, Па;

$h_n$  – депрессия проема в перемычке со стороны поступающей струи, Па;

$h_u$  – депрессия проема в перемычке со стороны исходящей струи, Па;

$Q_1$  – расход воздуха на аварийном участке, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – расход воздуха после возведения перемычек при открытых проемах, м<sup>3</sup>/с.

### **Порядок расчета**

Определяются депрессия  $h_1$ , Па, и расход воздуха  $Q_1$ , м<sup>3</sup>/мин, аварийной выработки до возведения перемычек. Расход воздуха замеряется непосредственно, а депрессия определяется по материалам депрессионной съемки или замеряется с помощью микроманометра (по выработкам, прилегающим к аварийному участку) или микробарометра.

После возведения перемычек измеряются при открытых проемах расход воздуха  $Q_2$ , депрессия проема в перемычке со стороны поступающей струи  $h_n$  и проема в перемычке со стороны исходящей струи  $h_u$ . Депрессия аварийного участка при открытых проемах в перемычках  $h_2$ , Па, определяется по формуле:

$$h_2 = h_n + h_u + h_1 \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \quad (12)$$

где  $h_1$  – депрессия аварийного участка, Па;

$h_n$  – депрессия проема в перемычке со стороны поступающей струи, Па;

$h_u$  – депрессия проема в перемычке со стороны исходящей струи, Па;

$Q_1$  – расход воздуха на аварийном участке, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – расход воздуха после возведения перемычек при открытых проемах, м<sup>3</sup>/с;

Затем закрывается проем в перемычке со стороны поступающей струи и замеряются депрессии  $h_n'$  и  $h_u'$  перемычек со стороны поступающей и исходящей струй, соответственно. Депрессия аварийного участка  $h_3$ , Па, определяется по формуле:

$$h_3 = h_n' + h_u' \quad (13)$$

где  $h_n'$  – депрессия перемычки со стороны поступающей струи после закрытия проема, Па;

$h_u'$  – депрессия перемычки со стороны исходящей струи после закрытия проема, Па

Определяется величина утечек воздуха  $Q_{ym}$ , м<sup>3</sup>/с, через аварийный участок при закрытом проеме в перемычке со стороны поступающей струи и открытом – со стороны исходящей струи:

$$Q_{ym} = \frac{Q_2 \cdot (h_3 - h_1) - Q_1 \cdot (h_3 - h_2)}{h_2 - h_1} \quad (14)$$

**Пример.** Определить утечки воздуха через аварийный участок при закрытом проеме со стороны поступающей струи и открытом проеме в перемычке со стороны исходящей струи при следующих исходных данных: где  $h_1 = 47,6$  Па;  $Q_1 = 5,7$  м<sup>3</sup>/мин;  $Q_2 = 3,7$  м<sup>3</sup>/мин;  $h_n = 38,8$  Па;  $h_u = 22$  Па;  $h_n' = 115$  Па;  $h_u' = 12$  Па.

**Решение.**

Депрессия аварийного участка при открытых проемах в перемычках (ф. 12):

$$h_2 = h_n + h_u + h_1 \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 = 38,8 + 22 + 47,6 \cdot \left( \frac{3,7}{5,7} \right)^2 = 80,8 \text{ Па}$$

Депрессия аварийного участка (ф. 13):

$$h_3 = h_n' + h_u' = 115 + 12 = 127 \text{ Па}$$

Величина утечек воздуха через аварийный участок при закрытом проеме в перемычке со стороны поступающей струи и открытом – со стороны исходящей струи (ф. 14):

$$Q_{ym} = \frac{Q_2 \cdot (h_3 - h_1) - Q_1 \cdot (h_3 - h_2)}{h_2 - h_1} = \frac{3,7 \cdot (127 - 47,6) - 5,7 \cdot (127 - 80,8)}{80,8 - 47,6} = 0,92 \text{ м}^3/\text{с}.$$

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

### **1. Аудиторный фонд ДВФУ**

Мультимедийная аудитория (зал), вместимостью на 80 человек. (Аудиторный фонд ДВФУ); состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Включает: - проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м<sup>2</sup>, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS).

Комплект презентационного оборудования: мультимедийный проектор, автоматизированный проекционный экран, акустическая система, а также интерактивная трибуна преподавателя. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов.

### **1. Доступ в сеть ДВФУ, Интернет.**

2. Персональные компьютеры для каждого студента с установленным программным обеспечением семейства MS.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Профилактика и тушение подземных пожаров»  
Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность  
Специализация «Профилактика и тушение природных пожаров»  
Форма подготовки очная

**Владивосток  
2016**

### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	7 семестр	Подготовка к практическим занятиям	9	Защита
2	7 семестр	Работа над лекционным материалом	14	Экзамен
3	7 семестр	Работа над рекомендованной литературой	13	Экзамен

Практические работы представляют собой расчетные задания, выполнение которых позволит закрепить теоретический материал. Работы выполняются на листе бумаги формата А4. Во время защиты практической работы преподавателем проверяется уровень теоретической подготовки студента по данной теме. Проверенная преподавателем работа оценивается «зачтено» или «не зачтено». В последнем случае возвращается студенту для исправления. Расчетные работы должны быть сданы до наступления сессии, в противном случае студент не будет аттестован.

Работать над рекомендованной литературой и лекционным материалом рекомендуется регулярно с тем, чтобы иметь необходимый уровень знаний и достаточную подготовку для выполнения практических работ в течение семестра и к экзамену.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Профилактика и тушение подземных пожаров»**  
**Специальность 20.05.01 Пожарная безопасность**  
**Специализация «Профилактика и тушение природных пожаров»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2016**

**Паспорт фонда оценочных средств**  
по дисциплине «Профилактика и тушение подземных пожаров»

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
ПК-17, способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации последствий ЧС	знает	опасные факторы пожара (ОФП), возникающие при тушении пожаров, требования по охране труда (ОТ).
	умеет	применять специальную пожарную технику и оборудование, предназначенным по тушения пожаров
	владеет	специальной пожарной техникой и оборудованием, предназначенным по тушения пожаров
ПК-18, знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной	знает	конструкции и технических характеристики пожарной и аварийно-спасательной техники
	умеет	практически работать на основной пожарной и аварийно-спасательной технике.
	владеет	правилами безопасной эксплуатации и ремонта пожарной и аварийно-спасательной техники.

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Раздел 4, 6, 7, 9	ПК-17, способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации последствий ЧС	знает	ПР-12 УО-1	Вопросы к экзамену 12, 17, 18, 34, 36, 41-44, 46-54, 57 ПР 3-12
			умеет		
			владеет		
2	Раздел 4, 5, 6, 7, 8, 9	ПК-18, знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной	знает	ПР-12 УО-1	Вопросы к экзамену 12, 17-24, 67 ПР 4-7, 10
			умеет		
			владеет		

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-17, способность организовывать тушение пожаров различными методами и способами, осуществлять аварийно-спасательные и другие неотложные работы при ликвидации последствий ЧС	знает (пороговый уровень)	опасные факторы пожара (ОФП), возникающие при тушении пожаров, требования по охране труда (ОТ).	знание закономерностей развития пожара; знание характеристик пожарно-технического вооружения	способность оценить опасность для людей, застигнутых пожаром; способность выбрать оптимальные методы спасения.
	умеет (продвинутый уровень)	применять специальную пожарную технику и оборудование, предназначенным по тушения пожаров	умение выбрать специальную пожарную технику и оборудование, соответствующие рангу пожара.	способность проводить прогнозирование развития опасных факторов пожара; способность определять последствия применения огнетушащих веществ
	владеет (высокий уровень)	специальной пожарной техникой и оборудованием, предназначенным по тушения пожаров	владение методами оперативного реагирования на изменение обстановки на пожаре	способность анализировать обстановку на пожаре; способность критически оценивать результаты действий по тушению пожара.
ПК-18, знание конструкции и технических характеристик пожарной и аварийно-спасательной техники, правил ее безопасной эксплуатации и ремонта, умением практической работы на основной пожарной и аварийно-спасательной	знает (пороговый уровень)	конструкции и технических характеристики пожарной и аварийно-спасательной техники	знание нормативных требований к порядку, содержанию и периодичности проведения технического обслуживания пожарной и аварийно-спасательной техники; знание способов устранения основных неисправностей	способность оценить результаты проведения технического обслуживания и регламентных работ
	умеет (продвинутый уровень)	практически работать на основной пожарной и аварийно-спасательной технике.	умение руководить техническим обслуживанием пожарной и аварийно-спасательной техники	способность выявлять неисправности основной пожарной и аварийно-спасательной техники
	владеет (высокий уровень)	правилами безопасной эксплуатации и ремонта пожарной и аварийно-	владение методами применения средств коллективной и индивидуальной	способность оценивать необходимость применения и

		спасательной техники.	защиты персоналом пожарных подразделений	правильность использования средств коллективной и индивидуальной защиты персоналом пожарных подразделений
--	--	-----------------------	--	---

Методические рекомендации, определяющие процедуру оценивания результатов освоения дисциплины «Профилактика и тушение подземных пожаров»

**Текущая аттестация студентов** проводится в форме контрольных мероприятий (защита практической работы, устный опрос) по оцениванию фактических результатов обучения студентов.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине, своевременность выполнения всех видов заданий, активность на занятиях);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Для контроля дисциплины предложено оценочное средство ПР-12 (расчётно-графическая работа), а также устный опрос. Текст работ находится в Разделе VI «Методические рекомендации по освоению дисциплины».

Критерии оценки:

- «зачтено» выставляется студенту при правильно выполненной и защищённой работе;
- «не зачтено» - при неверно выполненной работе.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Профилактика и тушение подземных пожаров»

проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. В 7 семестре предусмотрен экзамен. Образец экзаменационного билета:



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
**Инженерная школа**

ООП 20.05.01 «Пожарная безопасность»  
шифр, наименование направления подготовки (специальности)

Дисциплина «Профилактика и тушение подземных пожаров»

Форма обучения очная

Семестр 7 осенний 20 - 20 учебного года  
осенний, весенний

Реализующая кафедра безопасности в чрезвычайных ситуациях  
и защиты окружающей среды

### **Экзаменационный билет № 1**

1. Развитие пожара в горизонтальных выработках с горючей крепью.
2. Инертные газы и их применение при тушении пожаров.
3. Контроль над ранними признаками самовозгорания угля.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ проф. Петухов В.И.

М.П.



## Вопросы к экзамену по курсу «Профилактика и тушение подземных пожаров»

1. Опасность пожаров на горных предприятиях и причины их возникновения.
2. Понятия вспышки и воспламенения. Режимы горения. Химические процессы при горении.
3. Развитие пожара в горизонтальных выработках с горючей крепью
4. Особенности пожара в выработках, оборудованных ленточными конвейерами.
5. Предупреждение пожаров от электрического тока.
6. Развитие пожара на протяжении тупиковой выработки.
7. Развитие пожара в забое тупиковой выработки.
8. Определение горючести шахтных материалов.
9. Требования к огнестойкости крепи горных выработок.
10. Пожары в промышленных зданиях и сооружениях.
11. Эндогенная пожароопасность угольных шахт.
12. Локализация мест возникновения пожаров.
13. Факторы пожароопасности.
14. Процесс самовозгорания углей.
15. Теории самовозгорания углей.
16. Механизм процесса самонагревания и перехода его в самовозгорание.
17. Обнаружение пожаров в зданиях и сооружениях.
18. Признаки рудничных пожаров и методы их обнаружения.
19. Физиологические методы обнаружения подземных пожаров.
20. Газово-аналитический метод обнаружения подземных пожаров.
21. Физические методы обнаружения пожаров.
22. Оценка температуры очагов самовозгорания.
23. Определение местонахождения очагов пожара в выработанном пространстве.
24. Локация очагов эндогенных пожаров по приповерхностному составу горючих газов.

25. Методика проведения газовой съемки приповерхностного состава горючих газов.

26. Проблемы обнаружения очагов подземных пожаров.

27. Прогноз эндогенной пожароопасности выемочных полей и участков.

28. Определение склонности угля к самовозгоранию.

29. Прогноз эндогенной пожароопасности выемочных полей шахт.

30. Группирование шахтопластов (выемочных полей, участков) до степени эндогенной пожароопасности.

31. Защита поверхностных зданий и сооружений.

32. Снижение пожарной опасности шахтной деревянной крепи.

33. Шахтные пожарно-оросительные сети и противопожарные двери.

34. Первичные средства пожаротушения в шахте.

35. Основные направления предупреждения эндогенных пожаров.

36. Заиливание выработанных пространств глинистой пульпой.

37. Предупреждение эндогенных пожаров с помощью антипирогенов.

38. Пенный способ предупреждения эндогенных пожаров в шахтах.

39. Профилактические меры, обеспечивающие предупреждение эндогенных пожаров в пластах угля, склонного к самовозгоранию.

40. Профилактика экзогенных пожаров.

41. Подготовка шахты к ликвидации пожара.

42. Способы тушения подземных пожаров.

43. Пена и ее применение при тушении пожаров.

44. Инертные газы и их применение при тушении пожаров.

45. Классификация и состав огнетушащих и взрывоподавляющих порошков.

46. Средства тушения пожаров.

47. Активное тушение экзогенных пожаров.

48. Тушение водой.

49. Выемка пожарных очагов.

50. Применение парогазовой смеси при тушении пожаров.

51. Ликвидация пожаров с применением углекислого газа.

52. Изоляция пожарных участков.
53. Комбинированное тушение пожаров.
54. Тушение пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли.
55. Оценка опасности взрыва горючих газов при пожаре в шахте.
56. Технология предупреждения, локализации и тушения эндогенных пожаров в действующих выемочных полях и участках с помощью инертной пены.
57. Применение заиливания, инертных газов и затопления для тушения пожаров.
58. Контроль над эндогенными пожарами, их списание и вскрытие пожарного участка.
59. Контроль над ранними признаками самовозгорания угля.
60. Определение стадий эндогенного пожара по отношению оксида углерода и водорода.
61. Фон индикаторных газов.
62. Определение стадий эндогенного пожара.
63. Выбор контрольных точек и периодичность наблюдений.
64. Определение стадий развития и затухания эндогенных пожаров по соотношению непредельных углеводородов.
65. Определение температуры угля по соотношению этилена и ацетилена.
66. Контроль над развитием процесса самовозгорания угля и тушением эндогенных пожаров по соотношению содержания этилена и ацетилена.
67. План ликвидации аварий на шахтах.

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине  
«Профилактика и тушение подземных пожаров»**

Баллы рейтинговой оценки	Оценка стандартная	Требования к сформированным компетенциям
100-86	«отлично»	Выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, чётко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причём не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приёмами выполнения практических задач.
85-76	«хорошо»	Выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приёмами их выполнения.
75-61	«удовлетворительно»	Выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает трудности при выполнении практических работ.
60-50	«неудовлетворительно»	Выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.