

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра СШиПС



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графических работ  
по взрывозащите горных выработок

Донецк – 2001

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра СШиПС

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графических работ  
по взрывозащите горных выработок

(для студентов специальности 7.090303 «Шахтное и подземное строительство»)

УТВЕРЖДЕНО

на заседании кафедры  
«Строительство шахт  
и подземных сооружений»  
Протокол № \_\_\_\_\_  
от «\_\_» января 2001 г.

Рекомендовано к изданию  
методической комиссией  
специальности 7.090303  
Протокол № \_\_\_\_\_  
от «\_\_» января 2001 г.

Донецк – 2001

УДК 622.235.3 (24)

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по взрывозащите горных выработок (для студентов специальности 7.090303).

Сост.: Шевцов Н.Р. – Донецк: ДонГТУ, 2001. - с.

Рассмотрены вопросы применения теории и современной стратегии взрывозащиты горных выработок при решении практических задач.

Показана последовательность расчета предохранительных завес. Описан порядок определения расхода флегматизатора для локализации взрыва дисперсными системами со взрывчатой дисперсионной средой.

Составитель

Н.Р.Шевцов, проф.

Рецензент

И.Ф.Ярембаш, проф.

Ответственный за выпуск

Н.Р.Шевцов, проф.

## РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ РАЗЛЕТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА

### ***ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ***

Существенным отличием характера протекания химического взрыва (взрыв ВВ, метановоздушной и пылевоздушной смесей) от горения жидкостей и твердых тел является то, что после окончания взрывного горения продолжается разлет газообразных продуктов взрыва, которые на определенном расстоянии от центра взрыва еще сохраняют высокую температуру. Поэтому, в частности, в горной выработке, по которой распространяется взрыв метана и (или) угольной пыли, за зоной взрывного горения располагается зона выброса пламени за пределы загазированного (запыленного) участка выработки.

Минимальная протяженность буферной пламегасящей среды, через которую расширяющиеся продукты взрыва не способны воспламенить взрывчатую газопылевоздушную смесь называется критической дальностью разлета высокотемпературных продуктов взрыва ( $L_k$ ).

Цель данной расчетно-графической работы – помочь в изучении темы «Общие сведения о причинах и механизме возникновения и развития воспламенений метана и угольной пыли в горных выработках».

Для этого каждый студент должен выполнить индивидуальное задание, которое заключается в выявлении возможных значений скоростей развития взрыва в горной выработке, в построении графиков зависимости критической дальности разлета продуктов взрыва в воздухе и критической протяженности воздушной буферной среды между загазированными участками выработки от тепловой мощности взрыва и выполнении расчетов, связанных с построением упомянутых графиков в заданных условиях.

### СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

1 На продольном разрезе выработки вычертить схему развития взрыва в условиях поставленной задачи.

2 Установить значения минимально и максимально возможных скоростей развития взрыва в условиях постановки задачи.

3 Вычислить тепловую мощность взрыва при установленных предельных скоростях его развития, а также не менее чем при 5 промежуточных значениях.

4 Вычислить значения критической дальности разлета при всех установленных значениях мощности взрыва.

5 Построить график установленной зависимости критической дальности разлета высокотемпературных продуктов взрыва от мощности локализуемого взрыва.

6 Оформить работу в соответствии с методическими указаниями (образец титульного листа дан в Приложении 1).

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения задания каждый студент получает параметры выработки, в которой произошел взрыв, и протяженность загазированного призабойного участка. Варианты расчетно-графической работы № 1 даны в Приложении 2 – номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в рабочем журнале преподавателя.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Порядок решения задачи следующий.

1 На продольном разрезе горной выработки изображают схему развития взрыва с нанесением его опасных зон и трассы критической дальности распространения высокотемпературных продуктов взрыва (рис. 1.1).

2 Определяют объем воспламенившейся смеси по формуле

$$V_c = \ell_c \cdot S, \quad (1.1)$$

где  $\ell_c$  – длина тупикового участка выработки с воспламенившейся взрывчатой смесью, м;

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

3 Руководствуясь экспериментальными данными, приведенными в Приложении 3, устанавливают средние значения минимальной и максимальной скорости развития взрыва в призабойном участке выработки, протяженностью равной  $\ell_c$  в зависимости от источника воспламенения, степени взрывоопасности смеси и протяженности загазированного призабойного участка выработки ( $U_{\max}$  и  $U_{\min}$ ).

Между этими величинами принимают произвольно не менее 5 промежуточных значений скорости развития взрыва ( $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5$  и т.д.).

4 Определяют тепловую мощность взрыва при всех принятых значениях скорости его развития в выработке ( $Q_{\min}, Q_{\max}, Q_{t1}, Q_{t2}, Q_{t3}, Q_{t4}, Q_{t5}$  и т.д.) по формуле

$$Q_i = \frac{V_c \cdot U_c \cdot q}{\ell_c}, \quad \text{Дж/с}, \quad (1.2)$$

где  $U_c$  – скорость распространения пламени взрыва вдоль горной выработки, м/с;

$q$  – удельная теплота взрыва (с целью упрощения расчетов принимают равной: при взрыве метана  $3,38 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup> как для стехиометри-

ческой метановоздушной смеси, а при взрыве угольной пыли  $9,83 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup> как для квазистехиометрической пылевоздушной

смеси).

5 Определяют критическую дальность разлета высокотемпературных продуктов взрыва при всех полученных значениях его тепловой мощности ( $L_{\text{кmin}}$ ,  $L_{\text{кmax}}$ ,  $L_{\text{к1}}$ ,  $L_{\text{к2}}$ ,  $L_{\text{к3}}$ ,  $L_{\text{к4}}$ ,  $L_{\text{к5}}$  и др.) по формуле

$$L_{\text{к}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{Q_t}{\eta}}, \quad (1.3)$$

где  $\eta$  – относительный показатель теплофизической эффективности буферной среды.

В данной работе в качестве буферной среды выступает воздух (см. рис. 1.1), для которого  $\eta = 1$ .

Тогда формула (1.3) примет вид

$$L_{\text{к}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{Q_t} \quad (1.4)$$

6 Строят график зависимости  $L_{\text{к}} = f(Q_t)$ .

7 Устанавливают отношение  $L_{\text{к}}/\ell_c$  для  $U_{\text{min}}$  с изображением на продольном разрезе выработки (в масштабе 1:50 или 1:100) данных ситуаций (рис. 1.3).

#### МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ СДАЧЕ

1 Пояснительная записка объемом 5...6 с. Она должна содержать, кроме расчетов, необходимых для построения графиков, введение, заключение и список использованных источников. Во введении дается определение понятия «критическая дальность» и ее значение в системе взрывозащиты горных выработок. В заключении делается вывод относительно степени взрывоопасности выработки и даются предложения по ее устранению.

2 Графическая часть:

- схема постановки задачи (рис. 1.1);
- график зависимости  $L_{\text{к}} = f(Q_t)$  (рис. 1.2);
- схема, отражающая соотношение между  $\ell_c$  и  $L_{\text{к}}$  (рис. 1.3).

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ ЗАВЕСЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ В ГОРНОЙ ВЫРАБОТКЕ

### ***ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ***

В призабойном пространстве выработки перед взрыванием шпуровых зарядов ВВ в наиболее опасных условиях создают невзрывчатую (инертную) среду, которую называют предохранительной средой.

В настоящее время предохранительную среду создают, как правило, посредством взрывного распыления перед взрыванием шпуровых зарядов флегматизатора (жидкого или порошкового) из уложенных на почве выработки или подвешенных к крепи по специальной схеме (Приложение 4) легкоразрушаемых полиэтиленовых сосудов (пакетов). Такую среду называют предохранительной завесой.

Цель данной расчетно-графической работы – помочь в изучении темы «Дополнительные способы и средства предупреждения взрывов метана и угольной пыли при взрывных работах».

Для этого каждый студент должен выполнить индивидуальное задание, которое заключается в обоснованном выборе и расчете предохранительной завесы при взрывных работах, а также в построении пространственной схемы ее формирования с учетом действующих нормативов.

### СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

- 1 Обосновать вид применяемой предохранительной завесы, структурную схему и технические средства ее создания.
- 2 Рассчитать общий расход флегматизатора на предотвращение взрыва.
- 3 Разработать схему расположения сосудов (пакетов) в призабойном пространстве выработки.
- 4 Установить расход материалов, в т.ч. взрывчатых на создание завесы.
- 5 Составить табл. «Параметры предохранительной завесы» как элемент паспорта БВР.
- 6 Оформить работу в соответствии с методическими указаниями. (Образец титульного листа дан в Приложении 1).

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения задания каждый студент получает параметры пластовой выработки, в которой ведутся взрывные работы, с указанием числа приемов взрывания (взрывание по углю и породе за один прием или раздельное взрывание) и режима производства взрывных работ (обычный или

сотрясательный). Выработка проводится по пласту, опасному по взрыву угольной пыли.

Варианты расчетно-графической работы № 2 даны в Приложении 5 – номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в рабочем журнале преподавателя.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Расчет предохранительных завес сводится к определению расхода ВМ и флегматизатора (жидкого или порошкового), числа полиэтиленовых сосудов и к разработке схемы их размещения в выработке.

1 Обосновывают вид и необходимость применения предохранительной среды.

Предохранительная завеса, образующаяся в результате взрывного распыления воды, называется водораспылительной завесой, а порошкового ингибитора – аэрозольной порошковой завесой.

Предохранительную среду необходимо применять при взрывных работах в условиях повышенной взрывоопасности, а именно:

- в забоях пластовых выработок, проводимых по пластам, опасных по взрыву пыли, внезапным выбросам угля и газа или при относительном метановыделении более  $10 \text{ м}^3/\text{т}$  среднесуточной добычи;
- в чистопородных забоях выработок, проводимых для вскрытия пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, при условии применения ВВ III класса;
- по выбросоопасным песчаникам.

Аэрозольным завесам следует отдавать предпочтение при проведении:

- вентиляционных штреков;
- нарезных выработок;
- выработок по нарушенному массиву.

2 Принимают средства создания предохранительной завесы.

Для создания аэрозольной завесы допущено применять порошковые ингибиторы КСВ-30, ПСБ-ТМ и ПВХ-1н (их характеристика приведена в Приложении 1).

Для создания водораспылительной завесы применяют полиэтиленовые сосуды (мешки) вместимостью 20 л (1-й типоразмер) и 30 л (2-й типоразмер), а порошковой завесы пакеты вместимостью 3,0 кг (1-й типоразмер) и 5,5 кг (2-й типоразмер). Причем сосуды вместимостью 30 л разрешается только укладывать на почве выработки, а все остальные типоразмеры можно как укладывать, так и подвешивать.

Для изготовления распыляющего заряда допущено применять один патрон (массой 0,20 или 0,25 кг) ВВ V класса (углениты Э-6, 13П, 13П/1) или VI класса (угленит 10П, патроны П12ЦБ-2м).

Инициирование всех распыляющих зарядов в сосудах с водой (порошковым ингибитором) осуществляется только электродетонаторами мгновенного действия, например, ЭДКЗ-ОП.

### 3 Рассчитывают предохранительную завесу.

Расчет предохранительных завес сводится к определению расхода ВМ, флегматизатора и числа полиэтиленовых сосудов, а также к разработке схемы их размещения в выработке.

Расчет ведут по двум факторам:

- по нормативному удельному расходу флегматизатора на создание предохранительной завесы;
- исходя из нормативной схемы расположения сосудов (пакетов) в призабойном пространстве выработки, обеспечивающей его полное заполнение распылительным флегматизатором.

Порядок расчета зависит от количества открытых плоскостей в забое выработки при взрывании шпуровых зарядов ВВ и степени взрывоопасности выработки.

**А.** При взрывании зарядов ВВ на одну открытую поверхность

а) расчет по удельному расходу.

Количество воды (порошкового ингибитора) на создание предохранительной среды определяют по следующей формуле:

$$Q_{nc}^1 = q_{nc} \cdot S_{вч}, \quad (2.1)$$

где  $q_{nc}$  – норма расхода воды ( $q_{nc} = 4 \text{ л/м}^2$ ) или порошкового ингибитора ( $q_{nc} = 1,5 \text{ кг/м}^2$ );

$S_{вч}$  – площадь поперечного сечения выработки вчере (независимо от того взрываются ли заряды по всему сечению или только по его части, например, по углю),  $\text{м}^2$ .

б) расчет исходя из схемы расположения сосудов в сечении выработки.

Нормативными документами допущена следующая пространственная схема размещения снаряженных сосудов (пакетов) в выработках (все расстояния принимаются от центра заряда ВВ).

Создавать завесу путем распыления из уложенных на почве выработки сосудов допускается в выработках высотой до 2 м. В выработках высотой 2,1...3,5 м следует применять подвешенные к крепи сосуды. При высоте выработки более 3,5 м необходимо одновременно применять уложенные на почве и подвешенные к крепи сосуды.

Пространственные параметры размещения сосудов в сечении выработки следующие:

- от верха выработки не далее 1,5 м;
- от боков выработки не далее 1,5 м для водораспылительной и 1,8 м порошковой завесы;

- друг от друга в ряду (по ширине выработки) не более 3,5 м для водораспылительной и 3,0 порошковой завесы.

Исходя из поперечных размеров выработки вчерне и руководствуясь минимально допустимыми расстояниями при размещении сосудов в сечении выработки разрабатывают схему создания предохранительной завесы и определяют число сосудов различных типоразмеров, которое потребовалось для ее составления. По этой величине определяют количество флегматизатора по следующей формуле:

$$Q_{nc}^{11} = M_{nc1} \cdot n_{nc1} + M_{nc2} \cdot n_{nc2}, \quad (2.2)$$

где  $M_{nc1}$ ,  $M_{nc2}$  – вместимость сосудов (пакетов) первого и второго типоразмеров соответственно;

$n_{nc1}$ ,  $n_{nc2}$  – число сосудов (пакетов) первого и второго типоразмеров соответственно.

За нормативную величину  $Q_{nc}$  принимают большее из двух полученных значений ( $Q_{nc.ут.}$ ).

Если окажется, что  $Q_{nc}^1 \leq Q_{nc}^{11}$ , то установленное при расчете число сосудов (пакетов) и разработанная схема их размещения в выработке принимаются окончательными.

Однако в случае аэрозольной порошковой завесы можно, с целью недопущения перерасхода порошкового ингибитора, часть пакетов емкостью 5,5 кг заменить на пакеты емкостью 3,0 кг, если такой ассортимент имеется в выработке, доведя тем самым расход до величины примерно равной  $Q_{nc}^1$ .

Если же окажется, что  $Q_{nc}^1 > Q_{nc}^{11}$ , то число сосудов (пакетов), установленное на основании минимально допустимых расстояний, необходимо увеличить на величину с суммарной вместимостью не меньшей разности  $(Q_{nc}^1 - Q_{nc}^{11})$  и скорректировать соответственно схему их расположения в выработке. При этом для аэрозольной порошковой завесы, чтобы не увеличивать расход ВМ на ее создание, допускается сверху каждого уложенного на почве выработки пакета с ингибитором вместимостью 3,0 кг и распыляющим зарядом ВВ («активный» пакет) размещать еще по одному такому же пакету с ингибитором, но без заряда ВВ («пассивный» пакет).

Общий расход флегматизатора на создание предохранительной завесы составит:

$$Q_{nc.общ.} = M_{nc1} \cdot n_{nc1.ут.} + M_{nc2} \cdot n_{nc2.ут.}, \quad (2.3)$$

где  $n_{nc1.ут.}$ ,  $n_{nc2.ут.}$  – уточненное число сосудов с водой (пакетов с ингибитором первого и второго типоразмеров соответственно) на создание предохранительной завесы;

Общий расход ВВ на создание предохранительной завесы при каждом взрывании будет равен

$$M_{\text{вв}} = q_{\text{нагр}} \cdot (n_{\text{nc1ум}} + n_{\text{nc2ум}}), \text{ кг}, \quad (2.4)$$

$q_{\text{патр}}$  - масса одного патрона ВВ, кг.

Потребное количество электродетонаторов на создание предохранительной завесы будет равно

$$N_{\text{эд}} = n_{\text{пс1 ут}} + n_{\text{пс2 ут}}, \text{ шт} \quad (2.5)$$

В формулах (2.4) и (2.5) за величину параметра  $n_{\text{пс1 ут}}$  принимаются только активные пакеты.

В особо взрывоопасных условиях (при сотрясательном взрывании и при наличии в выработке в пределах 20 м от забоя суфлярных выделений метана) создают двухрядную (локализирующую) завесу (см. Приложение 5).

Сосуды размещают в два ряда, т.е. в двух плоскостях вдоль оси выработки.

Первый (основной) ряд сосудов располагают от забоя выработки не далее 1,5 м при водораспылительной и 1,0 м порошковой завесе.

Расстояние между рядами сосудов 2,0...2,5 м.

Для создания предохранительной завесы в особо взрывоопасных условиях расчет заново не производят, а второй (дополнительный) ряд сосудов формируют по той же схеме, что и первый, т.е. по рассчитанной для условий повышенной взрывоопасности схеме, а общий расход всех материалов удваивают.

**Б.** При взрывании зарядов ВВ на две открытые поверхности (при двухступенчатом забое).

В забоях подготовительных выработок с двумя открытыми поверхностями (например, при породной подрывке) создают локализирующую завесу, причем второй ряд сосудов должен располагаться в опережающей полости.

Расчет ведут отдельно для первого (основного) и второго (дополнительного) рядов сосудов.

Порядок расчета основного ряда (размещаемого в призабойном пространстве выработки) ведут по той же схеме, как и в случае варианта А, т.е. как для условий повышенной взрывоопасности.

Порядок расчета параметров завесы в опережающей полости принят следующий:

а) расчет по удельному расходу

$$Q_{\text{nc}}^1 = q_{\text{nc}} \cdot S_3, \quad (2.6)$$

где  $S_3$  – площадь опережающего забоя, м<sup>2</sup>;

б) расчет исходя из схемы расположения сосудов

Исходя из поперечных размеров опережающей полости и руководствуясь минимально допустимыми расстояниями при размещении сосудов разрабатывают схему создания предохранительной завесы и определяют число сосудов различных типоразмеров, которое потребовалось для ее составления. По этой величине определяют количество флегматизатора по следующей формуле:

$$Q_{nc}^{11} = M_{nc1} \cdot n_{nc1} + M_{nc2} \cdot n_{nc2} \quad (2.7)$$

За нормативную величину параметра  $Q_{nc}$  в каждом ряду принимают наибольшее из двух значений ( $Q_{nc \text{ ут}}$ ) по той же методике, что при варианте А.

Общий расход сосудов на создание предохранительной завесы в выработке будет равен:

- первого типоразмера

$$n_{nc1общ} = \sum n_{nc1ум} \quad (2.8)$$

- второго типоразмера

$$n_{nc2общ} = \sum n_{nc2ум} \quad (2.9)$$

Общий расход флегматизатора на создание завесы в выработке будет равен:

$$Q_{ncобщ} = M_{nc1} \cdot n_{nc1общ} + M_{nc2} \cdot n_{nc2общ} \quad (2.10)$$

Общий расход материалов (флегматизатора, ВВ, ЭД, сосудов) рассчитывают как сумму расходов для первого и второго рядов сосудов, а именно

$$M_{\text{вв}} = M_{\text{вв}1} + M_{\text{вв}2}, \text{ кг}, \quad (2.11)$$

где  $M_{\text{вв}1}$ ,  $M_{\text{вв}2}$  – расход ВВ на создание первого и второго ряда предохранительной завесы соответственно.

Общий расход электродетонаторов на создание предохранительной завесы будет равен

$$N_{\text{эд}} = N_{\text{эд}1} + N_{\text{эд}2}, \quad (2.12)$$

где  $N_{\text{эд}1}$ ,  $N_{\text{эд}2}$  – потребное количество электродетонаторов на создание первого и второго рядов предохранительной завесы соответственно.

Расходы  $M_{\text{вв}1}$  и  $M_{\text{вв}2}$  определяются по формуле (2.3), а  $N_{\text{эд}1}$  и  $N_{\text{эд}2}$  – по формуле (2.4).

Результаты расчета предохранительной завесы сводят в табл.2.1.

Таблица 2.1

Параметры предохранительной завесы

Вид предохранительной завесы	Наименование флегматизатора	Тип ВВ распыляющего заряда ВВ	Общий расход материалов на создание завесы				
			Флегматизатора, л (кг)	полиэтиленовых сосудов, шт.		ВВ, кг	ЭД, шт
				1-го типоразмера ( $n_{nc1 \text{ ут}}$ )	2-го типоразмера ( $n_{nc2 \text{ ут}}$ )		
1	2	3	4	5	6	7	8

## МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ СДАЧЕ

1 Пояснительная записка объемом 5...6 с.

Она должна содержать, кроме обоснования и расчета предохранительной завесы, введение, табл. «Параметры предохранительной завесы», заключение и список использованных источников. Во введении указывают назначение и способы создания предохранительной среды. В заключение дают организацию работ по созданию принятой предохранительной завесы.

2 Графическая часть: схема расположения снаряженных полиэтиленовых сосудов (пакетов) в призабойном пространстве выработки в двух проекциях в масштабе 1:25 или 1:50.

Красным цветом показывают распыляющий заряд ВВ, синим цветом вода (порошковый ингибитор – желтым цветом). Все остальные линии и знаки выполняют черным цветом.

### Расчетно-графическая работа № 3

## ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВА ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМОЙ

### ***ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ***

Локализацию взрыва в действующих горных выработках осуществляют дисперсными системами, которые, как известно, представляют собой гетерогенную систему из двух или более фаз с сильно развитой поверхностью раздела между ними. Причем одна из фаз (в нашем случае рудничная атмосфера) образует дисперсионную среду, по объему которой распределена дисперсная фаза в виде мелких твердых частиц или капель.

Сущность способа заключается в следующем. Пусть тупиковая часть выработки на протяжении  $l_{c0}$  заполнена взрывчатой смесью. У забоя выработки возник источник воспламенения смеси. Такая ситуация привела к взрыву. На пути возможного распространения высокотемпературных продуктов взрыва (пламени) на расстоянии  $l_{c1}$  от забоя выработки формируется пламегасящая среда в виде дисперсной системы, создаваемой, например, взрывным распылением порошкового флегматизатора, протяженностью  $l_{пс}$ . За пламегасящей средой, считая по ходу движения пламени, на протяжении  $l_{c2}$  располагается взрывчатая метановоздушная смесь (Приложение). Локализовать взрыв - это означает исключить возможность воспламенения смеси на участке  $l_{c2}$ .

В процессе гашения пламени взрыва принимает участие вся распыленная навеска флегматизатора: и та часть, которая взвешена в атмосфере, и та, которая осела на боках, кровле и почве выработки. Поэтому общий расход флегматизатора на локализацию взрыва определяется по формуле

$$M_{\text{вп}} = C_{\text{вп}} \cdot V_{\text{пс}}, \text{ кг}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{вп}}$  – удельный расход флегматизатора для локализации взрыва в заданных условиях;

$V_{\text{пс}}$  – объем зафлегматизированного участка выработки.

Очевидно

$$V_{\text{пс}} = \ell_{\text{пс}} \cdot S, \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

где  $\ell_{\text{пс}}$  – протяженность зафлегматизированного участка выработки;

$S$  - сечение выработки в месте создания пламегасящей среды.

Процесс локализации взрыва с помощью дисперсных систем со взрывчатой дисперсионной средой является дискретным. При этом имеется два пороговых скачка критической длины зоны разлета раскаленных продуктов взрыва в зависимости от концентрации флегматизатора в предохранительном облаке в результате скачкообразного снижения тепловой мощности локализуемого взрыва:

- при  $C = C_{\text{в}}$  из-за нарушения непрерывности процесса взрывного горения МВС в результате разделения пламегасящей (невзрывчатой) средой загазированного тупика выработки на два участка;
- при  $C = C_{\text{п}}$  из-за не выхода пламени взрыва за пределы пламегасящей среды, а следовательно, не воспламенения дальнего загазированного участка выработки.

Эта ситуация иллюстрируется диаграммой L-C, общий вид которой показан в Приложении 7.

Поэтому условие локализации взрыва дисперсной системой во взрывчатой среде имеет следующий вид:

$$C_{\text{п}} \leq C_{\text{вп}} \leq C_{\text{в}}, \quad (3.3)$$

где  $C_{\text{п}}$  – пламегасящая концентрация флегматизатора, т.е. концентрация, при которой высокотемпературные продукты взрыва охлаждаются до критической температуры в пределах зафлегматизированной зоны;

$C_{\text{в}}$  – взрывопредотвращающая концентрация флегматизатора, кг/м<sup>3</sup>.

Это означает, что величина удельного расхода флегматизатора на локализацию взрыва в загазированных и запыленных выработках следует принимать наибольшее из двух значений концентраций, т.е.  $C_{\text{п}}$  или  $C_{\text{в}}$ .

Цель данной расчетно-графической работы – помочь в изучении темы «Теория, способы и средства локализации взрыва метана и угольной пыли дисперсными системами в горных выработках».

Для этого каждый студент должен выполнить индивидуальное задание.

Необходимо установить как будет изменяться критическая дальность распространения высокотемпературных продуктов взрыва ( $L_{\text{к}}$ ) в зависимости от концентрации флегматизатора в пламегасящей среде ( $C$ ), т.е. общего количества

распыленного взрывом порошка, построить диаграмму L-C и определить расход порошкового флегматизатора на локализацию взрыва в заданных условиях.

#### СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

- 1 Рассчитать пикетное положение главных точек диаграммы L-C.
- 2 Определить критическую дальность разлета продуктов взрыва до начала процесса локализации.
- 3 Определить условия и параметры первого порогового скачка дальности разлета продуктов взрыва.
- 4 Определить условия и параметры второго порогового скачка дальности разлета продуктов взрыва.
- 5 Установить характер снижения дальности разлета продуктов взрыва при дальнейшем повышении концентрации флегматизатора в пламегасящей среде.
- 6 Построить диаграмму локализации взрыва – диаграмму L-C.
- 7 Вычислить расход флегматизатора на локализацию взрыва в заданных условиях.
- 8 Оформить работу в соответствии с методическими указаниями (образец титульного листа дан в Приложении 1).

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения задания каждый студент получает:

1 Параметры тупиковой горной выработки, у забоя которой произошло воспламенение стехиометрической метановоздушной смеси, протяженность загазирования призабойного участка выработки ( $l_{co}$ ), а также порошковый флегматизатор, применяемый для локализации взрыва, и его взрывозащитные параметры.

Варианты расчетно-графической работы № 3 даны в Приложениях 8 и 9 – номер варианта соответствует порядковому номеру фамилии студента в рабочем журнале преподавателя.

2 Пространственные параметры пламегасящей среды: она формируется на расстоянии  $l_{c1}$  от забоя и занимает все пространство выработки между  $l_{c1}$  и  $l_{co}$ .

3 Скорости развития взрыва: средняя скорость развития взрыва на призабойном участке выработки длиной  $l_{co}$  не зависит от наличия во взрывчатой смеси распыленного флегматизатора и на участке  $l_{c1}$  она в 3 раза выше, чем на участке  $l_{c2}$ .

4 Удельная теплота взрыва метановоздушной смеси равна  $3,38 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>, а метановоздушной (тройной смеси) -  $9,83 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

- 1 Расчет пикетного положения главных точек диаграммы.

Цель работы – вычисление пространственных параметров локализации взрыва в горной выработке.

Расчет ведут в следующем порядке.

Руководствуясь заданными соотношениями рассчитывают пикетное положение пламегасящей среды в призабойном пространстве выработки по формуле

$$l_{пс} = l_{со} - (l_{с1} + l_{с2}). \quad (3.4)$$

На продольном разрезе горной выработки графически изображается постановка задачи (до начала и после локализации взрыва): производят разбивку загазированного участка выработки протяженностью  $l_{со}$  на  $l_{с1}$ ,  $l_{пс}$  и  $l_{с2}$  и представляют критическую дальность распространения продуктов взрыва (рис. 3.1).

## 2 Определение максимального значения критической дальности.

2.1 Определяют объем загазированного участка выработки  $V_{со}$  по формуле (1.1).

2.2 Руководствуясь экспериментальными данными, приведенными в Приложении 3, устанавливают средние значения скорости развития взрыва на участках  $l_{со}$  ( $U_{со}$ ) и  $l_{с1}$  ( $U_{с1}$ ) и определяют среднюю скорость развития взрыва на участке  $l_{с2}$

$$U_{с2} = \frac{U_{с1}}{3} \quad (3.5)$$

2.3 Руководствуясь установленной скоростью развития взрыва ( $U_{со}$ ) определяют тепловую мощность взрыва  $Q_{тсо}$  по формуле (1.2).

2.4 Определяют критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{со}$  в воздухе ( $\eta = 1$ ), т.е. до начала процесса локализации ( $L_{ксо}$ ) по формуле (1.4).

## 3 Определение параметров первого порогового скачка.

3.1 Определяют взрывопредотвращающую концентрацию флегматизатора  $C_{в}$ .

В общем виде

$$C_{в} = C_{ф} \cdot K_{п}, \text{ кг/м}^3, \quad (3.4)$$

где  $C_{ф}$  – флегматизирующая концентрация флегматизатора (концентрация, при которой оба концентрационных предела взрываемости метановоздушной смеси смыкаются),  $\text{кг/м}^3$ ;

$K_{п}$  – коэффициент потерь (запаса).

Исходя из практики для сосудов, используемых для создания предохранительных завес (см. расчетно-графическую работу № 2) рекомендуется

принимать  $K_{\pi} = 5$ . Тогда для решения поставленной задачи формулу (3.4) можно представить в следующем упрощенном виде:

$$C_{\text{в}} = 5C_{\text{ф}} \quad (3.7)$$

Величину  $C_{\text{ф}}$  принимают из Приложения 9.

3.2 Определяют объемы загазированных участков выработки «О-  $\ell_{\text{с1}}$ » ( $V_{\text{с1}}$ ) и « $\ell_{\text{пс}} - \ell_{\text{с0}}$ » ( $V_{\text{с2}}$ ) по формуле (1.1).

3.3 Руководствуясь установленной скоростью развития взрыва ( $U_{\text{с1}}$ ) определяют тепловую мощность взрыва  $Q_{\text{тс1}}$  по формуле (1.2).

3.4 Определяют относительный показатель теплофизической эффективности пламегасящей среды ( $\eta$ ) при  $C = C_{\text{в}}$  по упрощенной формуле

$$\eta = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot C_{\text{в}} \cdot \lambda \cdot \sqrt[3]{\lambda} + 1,1, \quad (3.8)$$

где  $\lambda$  – удельное теплопоглощение флегматизатора, Дж/кг (принимают из Приложения 9).

3.5 Определяют критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{\text{с1}}$  ( $L_{\text{кс1}}$ ) по формуле (1.3) Если окажется, что  $L_{\text{кс1}} \leq \ell_{\text{пс}}$ , то это будет означать об отсутствии второго порогового скачка критической дальности. В этом случае принимают  $C_{\pi} = C_{\text{в}}$  и задание 4 не выполняют.

3.6 Устанавливают дальность распространения высокотемпературных продуктов взрыва МВС объемом  $V_{\text{с1}}$  за пределы загазированного участка выработки

$$\Delta L_{\text{кс1}} = L_{\text{кс1}} - (\ell_{\text{пс}} + \ell_{\text{с2}}) \quad (3.8)$$

3.7 Руководствуясь заданной скоростью развития взрыва ( $U_{\text{с2}}$ ) определяют тепловую мощность взрыва  $Q_{\text{тс2}}$  по формуле (1.2).

3.8 Определяют критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{\text{с2}}$  ( $L_{\text{кс2}}$ ) по формуле (1.3).

**4** Определение параметров второго порогового скачка.

4.1 Определяют относительный показатель  $\eta$ , при котором локализация взрыва (гашение пламени) достигается в пределах пламегасящей среды, т.е. при  $L_{\text{к}} = \ell_{\text{пс}}$ .

Расчетную формулу получают из (1.3)

$$\eta = \frac{37,58 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{\text{тс1}}}{\ell_{\text{пс}}} \quad (3.9)$$

4.2 Определяют пламегасящую концентрацию по следующей упрощенной формуле:

$$C_n = \frac{2,5 \cdot 10^7 \cdot (\eta - 1,1)}{\lambda \cdot \sqrt[3]{\lambda}} \quad (3.10)$$

5 Расчет участка кривой  $L_k = f(C)$  при  $C > C_{п}$ .

5.1 Определяют по формуле (3.8) относительный показатель  $\eta$  не менее чем при двух значениях концентрации  $C$ , например, при  $C_6 = 1,25 C_{п}$  и  $C_7 = 1,5 C_{п}$  ( $\eta_6, \eta_7$  и др.).

5.2 Определяют по формуле (1.3) критическую дальность разлета продуктов взрыва тепловой мощностью  $Q_{тс1}$  при установленных в п.5.1 значениях  $\eta$  ( $L_{к6}, L_{к7}$  и др.).

6 Построение диаграммы  $L - C$  (рис. 3.2).

6.1 Строят координатную сетку  $L - C$ , на которой наносят все главные точки. Из этих точек проводят тонкие линии параллельные оси абсцисс.

6.2 На оси ординат откладывают величину  $L_{ксо}$  и ставят точку 1, из которой проводят тонкую линию параллельно оси абсцисс.

6.3 На оси абсцисс наносят точку  $C_{в}$ , из которой проводят прямую параллельную оси ординат. На пересечении этого луча с лучом проведенного из точки 1 ставят точку 2.

6.4 Сравнивают между собой величины  $L_{кс1}$  и  $L_{кс2}$  и на луче, проведенном из точки  $C_{в}$ , откладывают вверх, начиная от точки пересечения его с лучом, проведенном из точки  $\ell_{со}$  большее из двух значений и ставят точку 3.

6.5 На ось абсцисс наносят точку  $C_{п}$  и проводят из нее тонкую линию параллельную оси ординат. На пересечении этой линии с лучом, проведенным из точки 3 параллельно оси абсцисс, ставят точку 4, а на пересечении этой линии с лучом, проведенном из точки  $\ell_{пс}$ , ставят точку 5.

6.6 На оси абсцисс наносят точки  $C_6, C_7$  и др. На лучах, проведенных из этих точек параллельно оси ординат откладывают, начиная от точки пересечения их с лучом, проведенным из точки  $\ell_{с1}$ , величины  $L_{к6}$  и  $L_{к7}$  соответственно и ставят точки 6 и 7.

6.7 Сплошной толстой прямой линией соединяют между собой точку 1 и точку 2, точку 2 и точку 3, точку 3 и точку 4, точку 4 и точку 5. Точки 5; 6 и 7 соединяют плавной толстой линией.

6.8 Выполняют анализ построенной диаграммы, в частности, определяют физический смысл поля, расположенного ниже ломанной линии 1-2-3.

7 Вычисление расхода флегматизатора на локализацию взрыва.

7.1 Устанавливают удельный расход флегматизатора  $C_{вп}$ , согласно условий (3.3).

7.2 Вычисляют объем пламегасящей среды по формуле (3.2).

7.3 Определяют общий расход флегамтизатора по формуле (3.1).

### МАТЕРИАЛЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ СДАЧЕ

1 Пояснительная записка объемом 5...6 с.

Пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с действующим стандартом Украины. Она должна содержать введение, в котором дается общая характеристика диаграммы L-C и ее значение для разработки системы взрывозащиты горных выработок, и заключение, в котором делается вывод о степени взрывоопасности защищаемой выработки.

2 Графическая часть работы включает следующие материалы:

- графическое изображение постановки задачи (рис. 3.1);
- диаграмму локализации взрыва – диаграмму L-C (рис. 3.2).

Приложение 1

ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ДонГТУ)

КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬСТВО ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ»  
(СШ и ПС)

### РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №

по дисциплине «Взрывозащита горных выработок»

**Тема:** « \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_»

(вариант № \_\_\_\_\_)

Выполнил: студент группы \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Проверил: д.т.н., проф. Шевцов Н.Р.  
\_\_\_\_\_

*Донецк*

**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**  
**к выполнению расчетно-графической работы № 1**  
**«Расчет критической дальности разлета продуктов взрыва»**

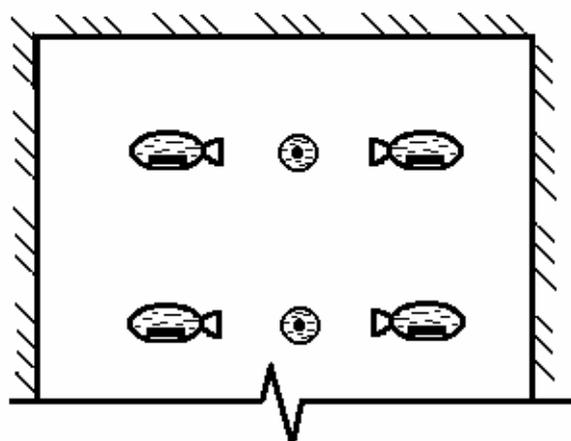
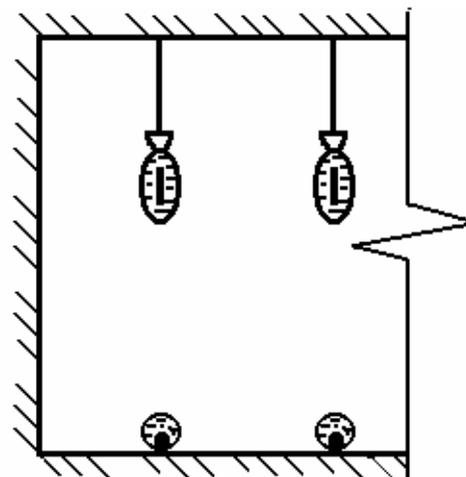
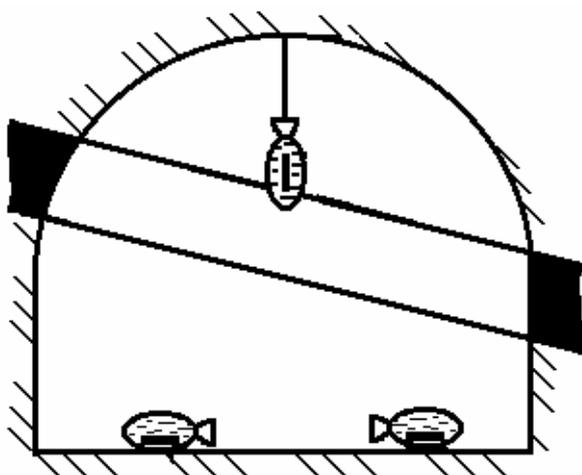
№ вари анта	Характеристика выработки		Протяженность	
	Форма поперечного сечения	Размеры в свету		загазированного тупика выработки  ( $l_c$ )*, м
		сечение ( $S_{св}$ ), м <sup>2</sup>	Высота (H), м	
1	2	3	4	5
1	Арочная	6,7	2,7	16
2	-//-	8,0	2,9	18
3	-//-	9,8	3,0	21
4	-//-	12,2	3,3	23
5	-//-	13,8	3,4	25
6	-//-	19,7	3,7	28
7	-//-	5,9	2,6	16
8	-//-	7,9	2,9	20
9	Трапецевидная	4,7	2,25	16
10	То же	5,9	2,25	14
11	-//-	7,1	2,25	12
12	-//-	8,4	2,25	10
13	-//-	9,2	2,25	8
14	-//-	6,9	2,55	5
15	-//-	9,2	2,55	18
16	-//-	11,1	2,55	20
17	Арочная	12,1	3,3	20
18	-//-	13,7	3,4	23
19	-//-	16,4	3,9	25
20	-//-	14,1	3,4	23
21	-//-	11,2	3,1	20
22	-//-	12,7	3,2	28
23	-//-	11,6	3,4	25
24	-//-	13,1	3,2	23
25	Трапецевидная	10,8	2,8	28
26	То же	11,8	2,8	25
27	-//-	9,2	2,8	20
28	-//-	8,2	2,8	18
29	-//-	6,6	2,8	15
30	-//-	11,2	2,6	10
31	-//-	11,3	2,6	8
32	-//-	8,9	2,6	5

\*Взрывчатая угольная пыль отсутствует

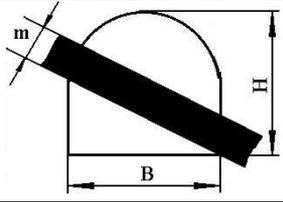
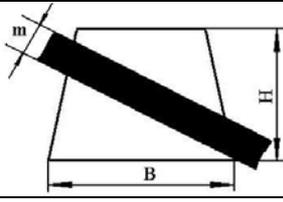
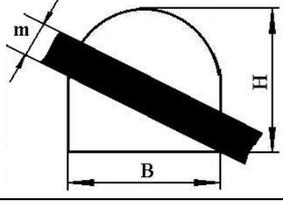
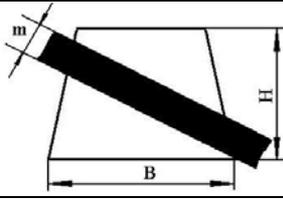
Развитие взрыва при различных условиях воспламенения

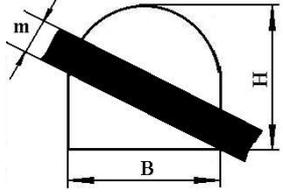
Источники воспламенения	Концентрация горючего в смеси		Время (в с) от момента подачи электрического импульса в источник воспламенения до подхода пламени к точке измерения, расположенной от источника воспламенения на расстоянии, м				
	метана, %	угольной пыли, г/м <sup>3</sup>	0,4	8,0	15,5	20,5	28,0
Открытый заряд аммонита Т-19 массой 150 г	9,5	—	0,015	0,028	0,050	0,055	0,080
<b>Электродетонатор</b>	9,5	—	0,107	0,153	0,184	0,225	0,271
Алюминиево-бариевый зажигатель	9,5	—	0,182	0,323	0,387	0,443	0,558
Открытый заряд аммонита Т-19 массой 150 г	9,5	300	0,060	0,092	0,152	0,186	0,237
Электродетонатор	9,5	300	0,070	0,140	0,179	0,203	0,246
Алюминиево-бариевый зажигатель	9,5	300	0,119	0,168	0,187	0,218	0,258
Тоже	15	—	0,1474	0,890	1,170	1,350	1,400

Принципиальная схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов для создания предохранительной завесы в особо взрывоопасных случаях

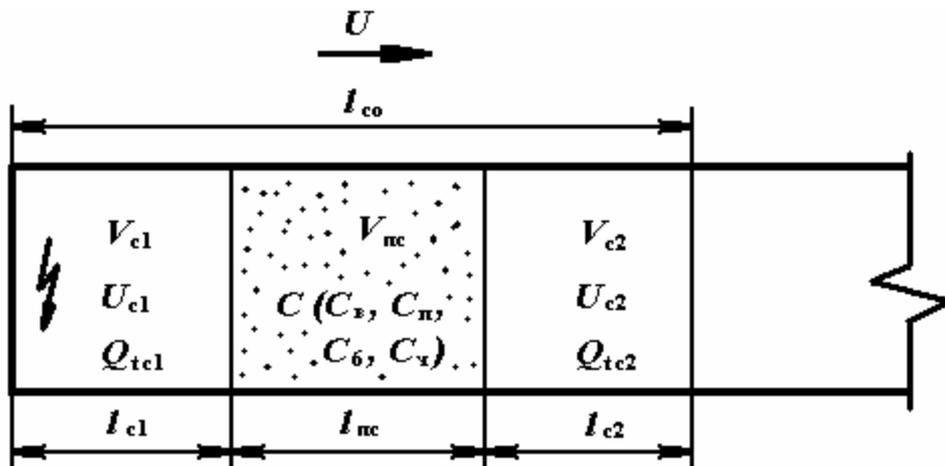


**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**  
**к выполнению расчетно-графической работы № 2**  
**«Расчет параметров предохранительной завесы...»**

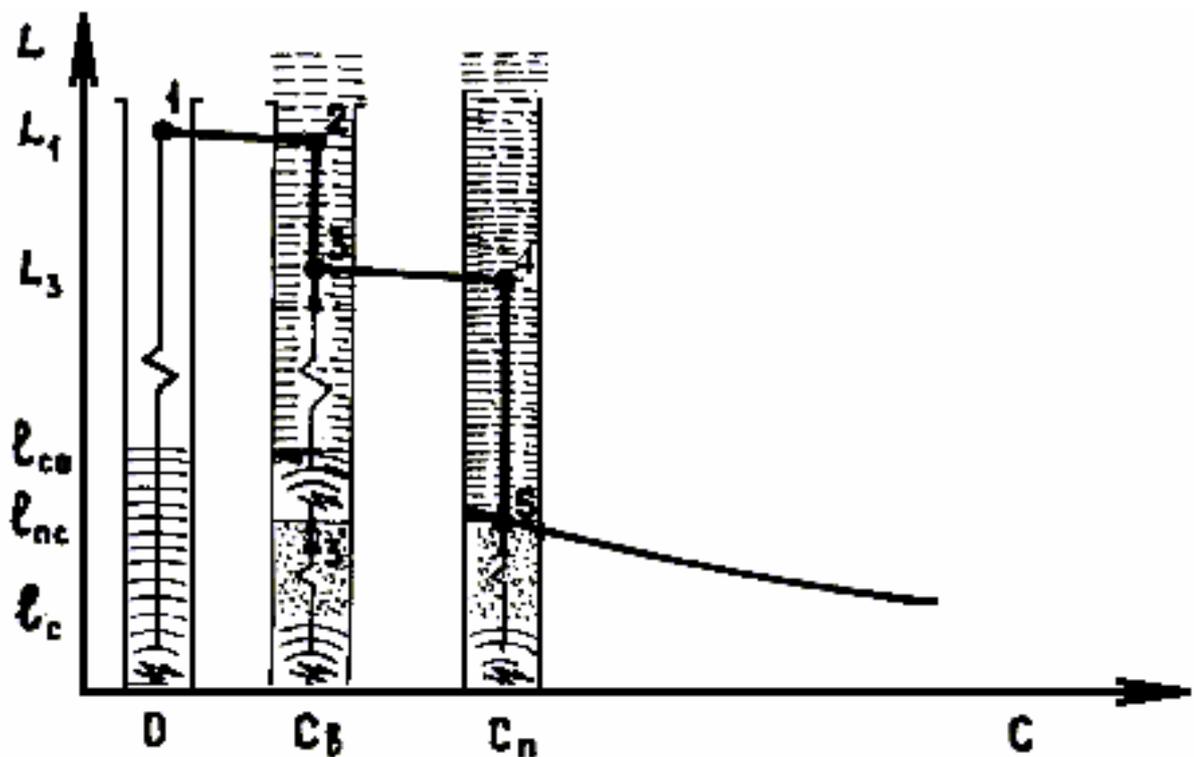
№ варианта	Форма поперечного сечения выработки	В, м	Н, м	т, м	Число приемов взрывания	Режим взрывания
1		2,4	1,8	0,5	Взрывание по углу и породе за один прием	Сотрясательный
2	То же	2,4	1,9	0,5	То же	То же
3	-//-	3,0	2,0	0,7	-//-	-//-
4	-//-	3,0	2,1	0,7	-//-	Обычный
5	-//-	4,0	2,8	0,9	-//-	-//-
6	-//-	4,0	2,9	0,9	-//-	-//-
7		4,6	2,9	1,2	-//-	Сотрясательный
8	То же	4,6	3,0	1,2	-//-	То же
9	-//-	4,6	3,1	1,2	-//-	-//-
10	-//-	4,6	3,2	1,2	-//-	Обычный
11	-//-	4,2	2,6	0,9	-//-	-//-
12	-//-	4,2	2,7	0,9	-//-	-//-
13		4,0	3,0	0,9	Раздельное взрывание по углу и породе	-//-
14	То же	4,0	3,1	0,9	То же	-//-
15	-//-	4,6	3,3	1,2	-//-	-//-
16	-//-	4,6	3,4	1,2	-//-	Сотрясательный
17	-//-	4,6	3,5	1,2	-//-	То же
18	-//-	4,6	3,6	1,2	-//-	-//-
19		4,2	2,8	0,9	Взрывание по углу и породе за один прием	Обычный
20	То же	4,2	2,9	0,9	То же	-//-
21	-//-	3,2	1,8	0,5	-//-	-//-
22	-//-	3,2	1,9	0,5	-//-	Сотрясательный
23	-//-	3,2	2,0	0,7	-//-	То же
24	-//-	3,2	2,1	0,7	-//-	-//-

1	2	3	4	5	6	7
25		4,2	3,9	1,2	Раздельное взрывание по углю и породе	Обычный
26	То же	4,0	3,7	1,2	То же	-//-
27	-//-	4,4	3,4	1,2	-//-	-//-
28	-//-	4,6	3,2	0,9	-//-	Сотрясательный
29	-//-	3,7	3,1	0,9	-//-	То же
30	-//-	3,6	3,0	0,8	Взрывание по углю и породе за один прием	-//-
31	-//-	3,0	2,2	0,7	То же	Обычный
32	-//-	3,0	2,0	0,2	-//-	-//-

**Принципиальная схема локализации взрыва дисперсной системой со взрывчатой дисперсионной средой**



**Диаграмма локализации взрыва в горной выработке дисперсной системой**



Приложение 8  
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ  
к выполнению расчетно-графической работы № 3  
«Построение диаграммы локализации взрыва дисперсной системой –  
диаграммы L - C»

№ варианта	Площадь поперечного сечения выработки в свету ( $S_{св}$ ), м <sup>2</sup>	Источник воспламенения	Концентрация горючего в рудничной атмосфере		Протяженность загазированного участка выработки, м		Наименование порошкового вещества, используемого для создания пламегасящей среды
			метана, %	угольной пыли, г/м <sup>3</sup>	$l_{с0}$	$l_{с1} = l_{с2}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	6,7	Открытый заряд аммонита Т-19 массой 0,15 кг	9,5	-	28,0	8,0	Согласно таблице «Взрывозащитная эффективность порошковых веществ»
2	8,0	То же	9,5	300	20,5	8,0	
3	9,8	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
4	12,2	-//-	9,5	300	28,0	8,0	
5	13,8	-//-	9,5	-	28,0	8,0	
6	19,7	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
7	5,9	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
8	7,9	-//-	9,5	300	28,0	8,0	
9	4,7	-//-	9,5	-	28,0	8,0	
10	5,9	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
11	7,1	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
12	8,4	Электродетонатор	9,5	300	28,0	8,0	
13	9,2	То же	9,5	-	15,5	4,0	
14	6,9	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
15	9,2	-//-	9,5	-	28,5	8,0	
16	11,1	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
17	12,1	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
18	13,7	-//-	9,5	300	28,0	8,0	
19	16,4	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
20	14,1	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
21	11,2	-//-	9,5	-	28,5	8,0	
22	12,7	Алюминиево-бариевый зажигатель	9,5	300	15,5	4,0	
23	11,6	То же	15,0	-	20,5	8,0	
24	13,1	-//-	9,5	-	28,5	8,0	
25	10,8	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
26	11,8	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
27	9,2	-//-	9,5	-	20,5	8,0	
28	8,2	-//-	9,5	300	28,5	8,0	
29	6,6	-//-	15,0	-	28,0	8,0	
30	11,2	-//-	9,5	-	15,5	4,0	
31	11,3	-//-	9,5	300	20,5	8,0	
32	8,9	-//-	15,0	-	28,0	8,0	

**Взрывозащитная эффективность порошковых веществ  
(флегматизаторов МВС)**

<b>№ варианта</b>	<b>Наименование и шифр вещества</b>	<b>Флегматизирующая концентрация (С<sub>ф</sub>), г/м<sup>3</sup></b>	<b>Удельное теплопоглощение (λ), кДж/кг</b>
1	2	3	4
1	Карбамид гранулированный	319,0	2510
2	Алюмоаммонийные квасцы	222,0	2480
3	Опытный состав Н-98	16,2	2270
4	Опытный состав ПВХ-5с	19,8	2198
5	Опытный состав ПВС-4	37,4	2198
6	Сыпучий состав ВМК-1	55,0	2040
7	Троно-бикарбонатный продукт КСВ-Т	55,0	2012
8	Взрывоподавляющий порошок ПСБ-ТМ	19,8	2012
9	Взрывоподавляющий порошок КСВ-30	13,5	2012
10	Взрывоподавляющий порошок ПСБ-ТМ	19,8	1859
11	Огнетушащий порошок «Пирант»	19,8	1622
12	Опытный состав ПВМ-2	125,0	1622
13	Гидрокарбонат натрия	150,0	1580
14	Огнетушащий порошок ПСБ-2	144,0	1560
15	Огнетушащий порошок ПСБ-3	159,0	1420
16	Опытный состав МК 50/50	20,0	1414
17	Опытный состав ФК 60/40	52,0	1260
18	Гидрофосфат аммония	150,0	1020
19	Огнетушащий порошок П-1А	142,0	930
20	Инертная пыль	788,0	795
21	Сульфат натрия безводный	290,0	730
22	Хлорид натрия грубодисперсный (помол № 1)	550,0	697
23	Хлорид натрия тонкодисперсный	36,2	697
24	Опытный состав СНМ	7,1	697
25	Опытный состав УКС	9,6	697
26	Опытный состав ПХ-4А	13,3	697
27	Взрывоподавляющий порошок ПВХ-1Н	17,8	697
28	Зола-унос	481,0	687
29	Флюорит	26,9	651
30	Хлорид калия удобрительный К-100Г	35,2	620
31	Хлорид калия	68,0	620
32	Доменный шлак МШ-1	83,0	600

## УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по  
взрывозащите горных выработок  
(для студентов специальности 7.090303 «Шахтное и подземное строительство»)

Составитель: Шевцов Николай Романович

## ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 1

Призабойный участок горной выработки трапециевидной формы поперечного сечения площадью равного  $8,9 \text{ м}^2$  ( $S = 8,9 \text{ м}^2$ ) и высотой равной  $2,6 \text{ м}$  ( $H = 2,6 \text{ м}$ ) на протяжении  $12 \text{ м}$  заполнен стехиометрической взрывчатой метановоздушной смесью (МВС) ( $\ell_c = 12 \text{ м}$ ). В загазированном тупике и за его пределами взрывчатая угольная пыль отсутствует. Определить как будет изменяться критическая дальность разлета высокотемпературных продуктов взрыва при различных источниках ее воспламенения, т.е. начиная от наиболее агрессивного (взрыв открытого заряда ВВ) до весьма «слабого» (электрическое искрение).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Порядок решения задачи следующий.

1 На продольном разрезе горной выработки изображаем схему развития взрыва в условиях постановки задачи (рис. 1.1).

2 Определяем объем воспламенившейся смеси по формуле

$$V_c = \ell_c \cdot S = 12 \cdot 8,9 = 106,8 \text{ м}^3, \quad (1.1)$$

где  $\ell_c$  – длина тупикового участка выработки с воспламенившейся взрывчатой смесью (см. рис. 1.1), м;

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

1 По данным динамики развития взрыва в горных выработках устанавливаем средние значения минимальной и максимальной скорости развития взрыва в рассматриваемой выработке. Из Приложения 3 устанавливаем, что максимальная скорость развития взрыва будет иметь место при воспламенении стехиометрической метановоздушной смеси взрывом ПЖВ-20, а минимальная при воспламенении метановоздушной смеси с концентрацией метана равной 15%.

Определяем время развития взрыва на участке выработки между отметками  $8,0$  и  $15,5 \text{ м}$

$$0,050 - 0,028 = 0,022 \text{ с и}$$

$$1,170 - 0,89 = 0,28 \text{ с.}$$

Тогда максимальное и минимальное средние значения скоростей развития взрыва на призабойном участке длиной  $12 \text{ м}$  составят

$$U_{\max} = \frac{12}{0,028 + \frac{0,022 \cdot (12 - 8)}{15,5 - 8,0}} = \frac{12}{0,028 + 0,012} = 300 \text{ м/с}$$

$$U_{mix} = \frac{12}{0,89 + \frac{0,28 \cdot (12 - 8)}{15,5 - 8,0}} = \frac{12}{0,89 + 0,15} = 11,5 \text{ м/с}$$

Между этими величинами принимаем произвольно 5 промежуточных значений скорости развития взрыва, а именно:

$$\begin{aligned} U_{c1} &= 50 \text{ м/с}; U_{c2} = 100 \text{ м/с}, \\ U_{c3} &= 150 \text{ м/с}; U_{c4} = 200 \text{ м/с} \\ &\text{и } U_{c5} = 250 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

4 Определяем тепловую мощность взрыва при всех принятых значениях скорости его развития в выработке ( $Q_{tmin}$ ,  $Q_{tmax}$ ,  $Q_{t1}$ ,  $Q_{t2}$ ,  $Q_{t3}$ ,  $Q_{t4}$ ,  $Q_{t5}$ ) по формуле

$$Q_t = \frac{V_c \cdot U_c \cdot q}{\ell_c}, \text{ Дж/с}, \quad (1.2)$$

где  $U_c$  – скорость распространения пламени взрыва вдоль горной выработки, м/с;

$q$  - удельная теплота взрыва ( $q = 3,38 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$ ).

Подставив в формулу (1.2) численные значения для условий решаемой задачи получим:

$$Q_t = \frac{106,0 \cdot 3,38 \cdot 10^{-6}}{12} \cdot U_c = 30,08 \cdot 10^6 \cdot U_c, \text{ Дж/с}$$

Тогда

$$\begin{aligned} Q_{tmin} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 11,5 = 345,92 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{tmax} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 300 = 9024 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{t1} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 50 = 1504,1 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{t2} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 100 = 3008 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{t3} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 150 = 4512 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{t4} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 200 = 6016 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \\ Q_{t5} &= 30,08 \cdot 10^6 \cdot 250 = 7520 \cdot 10^6 \text{ Дж/с} \end{aligned}$$

5 Определяем критическую дальность разлета высокотемпературных продуктов взрыва при всех полученных значениях его тепловой мощности ( $L_{kmin}$ ,  $L_{kmax}$ ,  $L_{k1}$ ,  $L_{k2}$ ,  $L_{k3}$ ,  $L_{k4}$ ,  $L_{k5}$ ) по формуле

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{Q_t}{\eta}}, \quad (1.3)$$

где  $\eta$  – относительный показатель теплофизической эффективности буферной среды.

В данной работе в качестве буферной среды выступает воздух (см. рис. 1.1), для которого  $\eta = 1$ .

Тогда формула (1.3) примет вид

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{Q_t} \quad (1.4)$$

Подставив в формулу (1.4) значения  $Q_t$  получим:

$$L_{\kappa \min} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{345,92 \cdot 10^6} = 11,3 \text{ м}$$

$$L_{\kappa \max} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{9024 \cdot 10^6} = 58,2 \text{ м}$$

$$L_{\kappa 1} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{1504,1 \cdot 10^6} = 23,8 \text{ м}$$

$$L_{\kappa 2} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{3008 \cdot 10^6} = 33,6 \text{ м}$$

$$L_{\kappa 3} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{4512 \cdot 10^6} = 41,2 \text{ м}$$

$$L_{\kappa 4} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{6016 \cdot 10^6} = 47,6 \text{ м}$$

$$L_{\kappa 5} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{7520 \cdot 10^6} = 53,2 \text{ м}$$

6. Строим график зависимости  $L_{\kappa} = f(Q_t)$  (рис. 1.2).

Устанавливаем отношение  $L_{\kappa}/\ell_c$  для  $U_{\text{сmin}} = 11,3 \text{ м/с}$  и  $U_{\text{сmax}} = 300 \text{ м/с}$ .

$$\ell_{\kappa \min} / \ell_c = 16,8 : 12 = 0,9$$

$$\ell_{\kappa \max} / \ell_c = 58,2 : 12 = 4,8$$

На продольном разрезе выработки изображаем в масштабе 1:500 данную ситуацию.

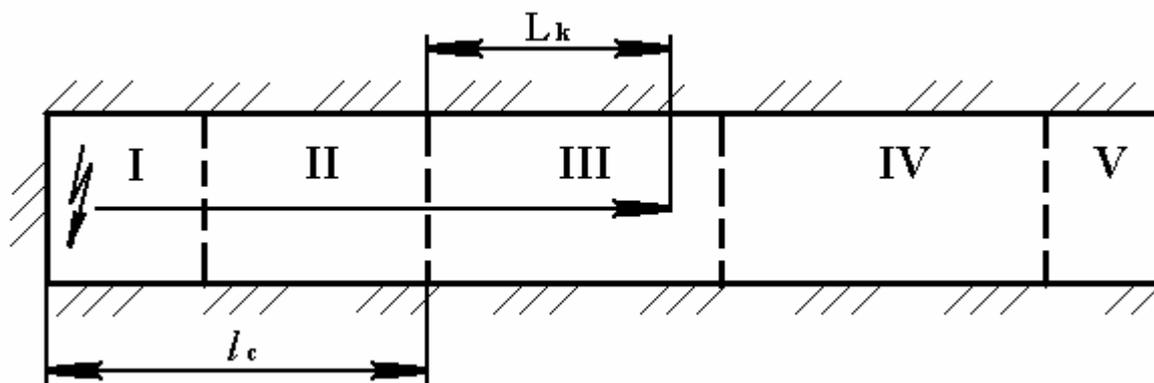


Рис 1.1 Опасные зоны, возникающие в горной выработке при развитии взрыва

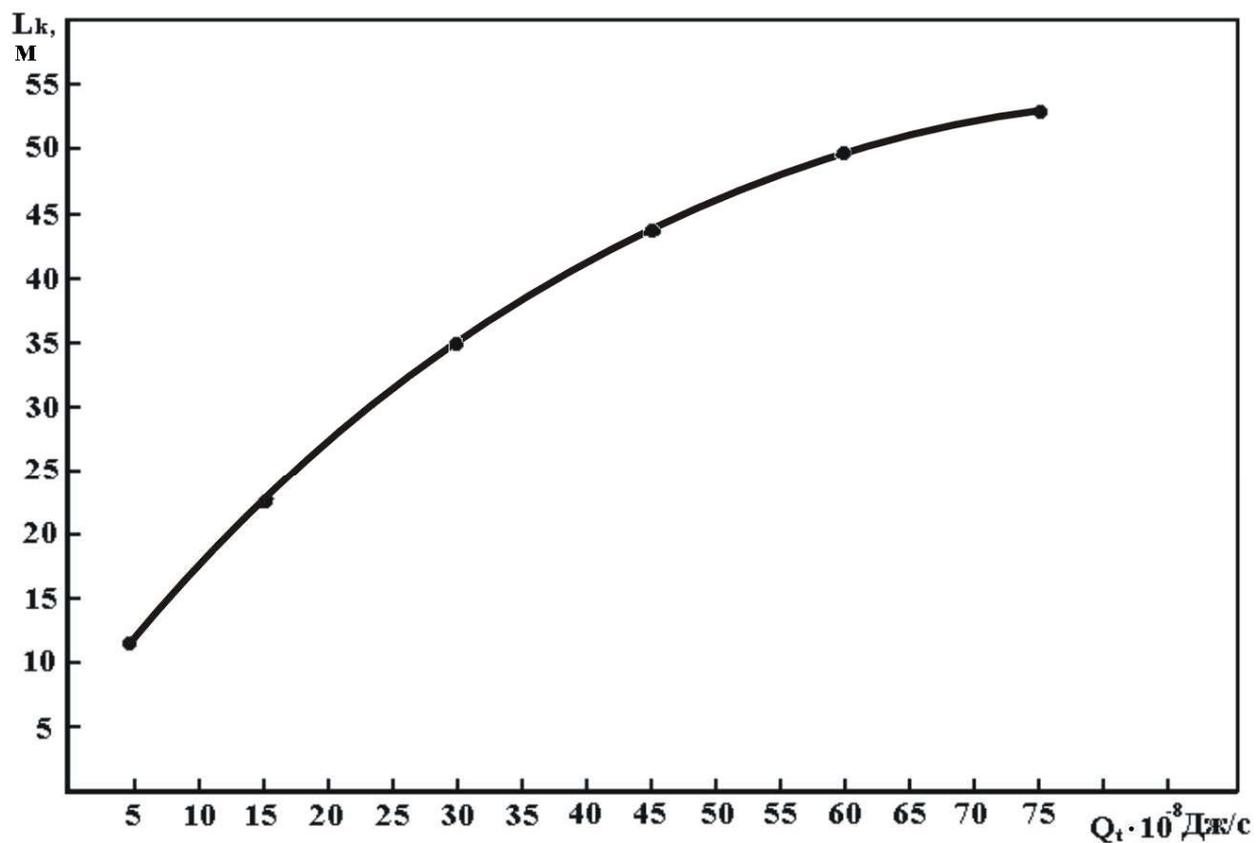


Рис 1.2 График зависимости критической дальности от тепловой мощности взрыва

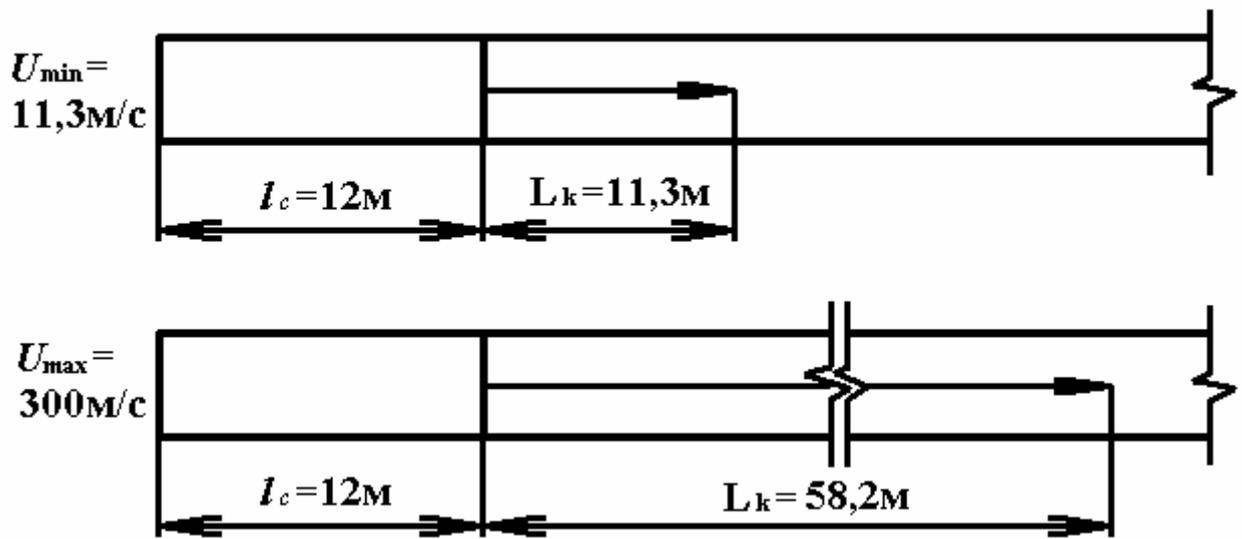


Рис 1.3 Фактическая схема развития взрыва

## **ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 2 (ВАРИАНТ 1)**

Разработать схемы создания и рассчитать параметры водораспылительной или аэрозольной порошковой предохранительных завес в откаточном штреке, проводимом по пласту, опасному по взрыву пыли, как при отсутствии так и при наличии суфлярных выделений метана в пределах 20 м от забоя. Взрывание зарядов ВВ проводится одновременно по углю и по породе.

Форма поперечного сечения выработки – арочная.

Размеры выработки в черне:

ширина – 4,9 м;

высота – 3,8 м.

Мощность пласта равна 1,0 м.

Для создания предохранительной завесы имеются сосуды вместимостью 20 и 30 л, а также пакеты с ингибитором первого и второго типоразмеров, т.е. вместимостью 3,0 и 5,5 кг.

На складе ВМ имеются все серии электродетонаторов ЭДКЗ-ПМ и ЭДКЗ-ОП, а также 3 типа ВВ: аммонит 6ЖВ (масса одного патрона 200 г), аммонит Т-19 (масса патрона 300 г) и углениты Э-6 и 13П (масса патрона 200 г).

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ № 1**

А. В условиях повышенной взрывоопасности

1 В этих условиях создаем однорядную водораспылительную или порошковую аэрозольную завесу.

2 Для распыления флегматизатора принимаем один патрон массой 0,2 кг угленита 13П (угленит Э-6 в Украине серийно не выпускается). Для инициирования всех распыляющих зарядов принимаем электродетонаторы ЭДКЗ-ОП.

Для создания аэрозольной порошковой завесы применяем наиболее эффективный из допущенных в шахту порошковый ингибитор КСВ-30.

3 Рассчитываем предохранительную завесу.

Расчет ведем по двум факторам:

- по удельному расходу флегматизатора;
- исходя из схемы расположения сосудов (пакетов) в выработке.

**а) расчет по удельному расходу.**

Количество воды (порошкового ингибитора) на создание предохранительной среды определяем по следующей формуле:

$$Q_{nc}^1 = q_{nc} \cdot S_{вч}, \quad (2.1)$$

где  $q_{nc}$  – норма расхода воды ( $q_{nc} = 4 \text{ л/м}^2$ ) или порошкового ингибитора

$$(q_{nc} = 1,5 \text{ кг/м}^2);$$

$S_{вч}$  – площадь поперечного сечения выработки вчерне (независимо от того взрываются ли заряды по всему сечению или только по его части, например, только по углю),  $\text{м}^2$ .

Определяем площадь поперечного сечения выработки вчерне

$$S_{вч} = 4,9 \cdot (3,8 - 4,9 : 2) + \pi / 2 \cdot (4,9 : 2)^2 = 16,0 \text{ м}^2$$

Так как взрывание проводится за один прием, то расчет ведем как для забоя с одной открытой поверхностью:

- водораспылительная завеса

$$Q_{nc}^I = 4 \cdot 16 = 64 \text{ л}$$

- аэрозольная порошковая завеса

$$Q_{nc}^I = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ кг}$$

#### **б) расчет исходя из схемы расположения сосудов (пакетов).**

Так как высота выработки  $> 3,5$  м, то завесу создаем распылением флегматизатора одновременно из уложенных на почве и подвешенных к крепи на расстоянии 1,5 м от кровли выработки сосудов (пакетов).

Так как ширина выработки  $> 3,6$  м, то на почве укладывают два сосуда с водой емкостью 30 л каждый (рис. 2.1 а) или с порошком емкостью 5,5 кг каждый на расстоянии 1,0 м от боков выработки (рис. 2.1 б).

Исходя из разработанной схемы определяем количество флегматизатора на создание завесы по следующей формуле

$$Q_{nc}^{II} = M_{nc1} \cdot n_{nc1} + M_{nc2} \cdot n_{nc2}, \quad (2.2)$$

где  $M_{nc1}, M_{nc2}$  – вместимость сосудов первого и второго типоразмера соответственно;

$n_{nc1}, n_{nc2}$  – число сосудов (пакетов) первого и второго типоразмера соответственно.

Подставив значения входящих величин в формулу (2.2) получим:

- водораспылительная завеса

$$Q_{nc}^{II} = 20 \cdot 1 + 30 \cdot 2 = 80 \text{ л}$$

- аэрозольная порошковая завеса

$$Q_{nc}^{II} = 5,5 \cdot 3 = 16,5 \text{ кг}$$

Анализируем результаты расчетов и определяем окончательный расход средств для создания предохранительной завесы:

- водораспылительная завеса

Расчеты показали, что  $Q_{nc}^1 < Q_{nc}^{11}$ .

Следовательно, установленное при расчете число сосудов с водой и разработанная схема их размещения в выработке принимаем окончательными.

Поэтому для создания водораспылительной завесы требуется:  $n_{пс1\ ут} = 1$  шт. и  $n_{пс2\ ут} = 2$  шт.;  $N_{эд} = 3$  шт.;  $M_{вв} = 0,2 \cdot 3 = 0,6$  кг.

- аэрозольная порошковая завеса

Расчеты показали, что  $Q_{nc}^1 > Q_{nc}^{11}$  на величину равную

$$Q_{nc}^1 - Q_{nc}^{11} = 24,0 - 16,5 = 7,5 \text{ кг}$$

Поэтому, в разработанную добавляем два пакета вместимостью 3,0 и 5,5 кг каждый, один из которых вместимостью 5,5 кг подвешиваем, а второй (3,0 кг) укладываем на почве выработки. Тогда уточненный расход материалов на создание аэрозольной порошковой завесы составит:

$$Q_{пс\ ут} = 5,5 \cdot 4 + 3,0 = 25 \text{ кг}; n_{пс1\ ут} = 1 \text{ шт. и } n_{пс2\ ут} = (2 + 2) = 4 \text{ шт.}; N_{эд} = n_{пс2\ ут} + n_{пс1\ ут} = 1 + 4 = 5 \text{ шт.}; M_{вв} = 0,2 \cdot 5 = 1,0 \text{ кг}$$

Составляем окончательную схему размещения сосудов (пакетов) в выработке для создания предохранительной завесы (рис. 2.2 а и 2.3).

Б. В особо взрывоопасных условиях (при наличии суфлярного выделения метана).

В этих условиях необходимо создать двухрядную (локализирующую) завесу. Для этого добавляем второй (считая от забоя выработки) ряд сосудов (пакетов), а основной (первый) ряд оставляем без изменения. Этот дополнительный ряд строим точно по такой же схеме, что и основной (см. рис. 2.2 и 2.3).

Расстояние между рядами вдоль оси выработки принимаем равным 2 м, удаление первого (основного) ряда сосудов от забоя выработки для обеих видов предохранительных завес принимаем равным 1,0 м (рис. 2.4 и 2.5).

Общий расход материалов на формирование предохранительных завес при производстве взрывных работ в этих условиях удваивается по сравнению с рассчитанным и составит:

- водораспылительная завеса

$$n_{пс1\ ут} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ шт.}, n_{пс2\ ут} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.}; Q_{пс\ общ.} = 80 \cdot 2 = 160 \text{ л}; M_{вв} = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ кг}; N_{эд} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт.}$$

- аэрозольная порошковая завеса

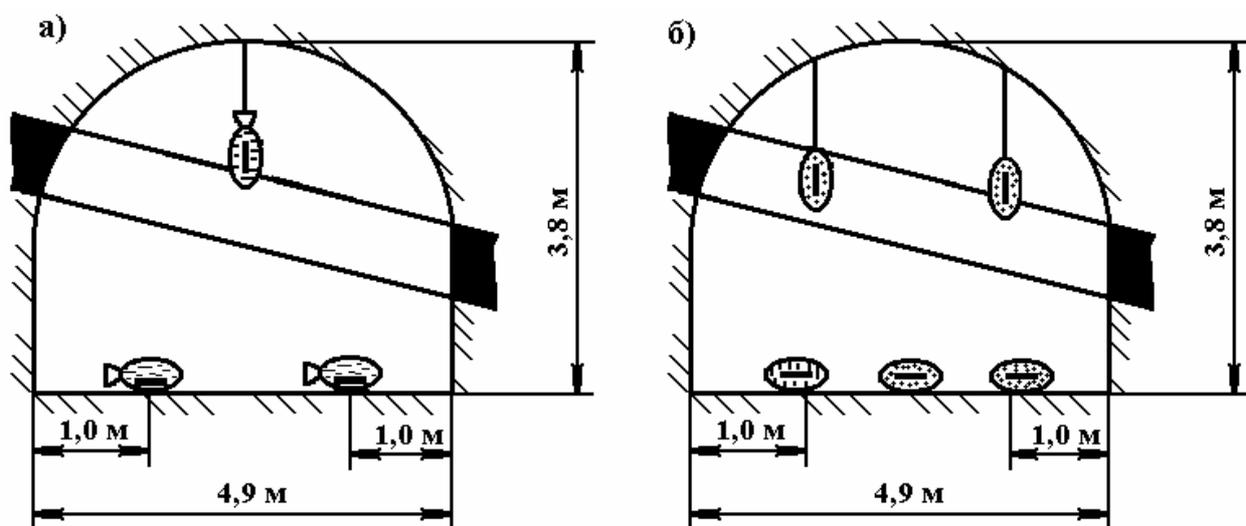
$$n_{пс1\ ут} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ шт.}, n_{пс2\ ут} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ шт.}; Q_{пс\ общ.} = 25 \cdot 2 = 50 \text{ кг}; M_{вв} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кг}; N_{эд} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ шт.}$$

Параметры предохранительных завес сведены в табл. 2.1.

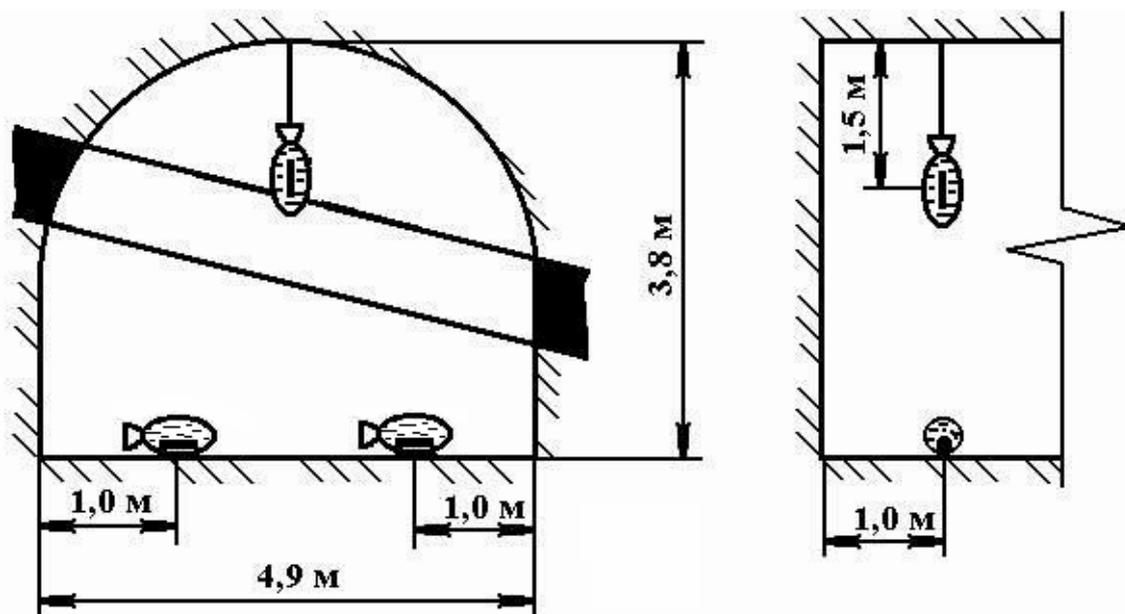
Таблица 2.1

## Параметры предохранительных завес

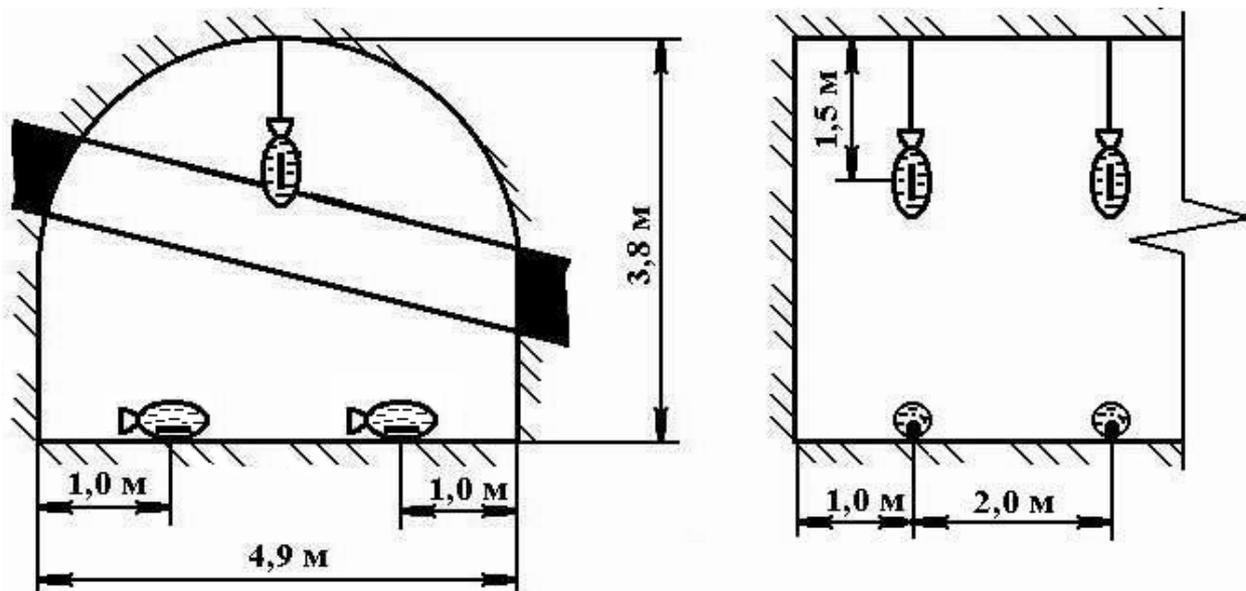
Вид предохранительной завесы	Наименование флегматизатора	Тип ВВ	Общий расход материалов на создание завесы				
			Флегматизатора, л (к)	сосудов (пакетов), шт.		ВВ, кг	ЭД, шт.
				п <sub>пс1</sub> шт	п <sub>пс2</sub> шт		
1	2	3	4	5	6	7	8
1. В условиях повышенной взрывоопасности							
Водораспылительная	вода	Угленит 13П	80	1	2	0,6	3
Аэрозольная порошковая	КСВ-30	то же	25	1	4	1,0	5
2. В особо взрывоопасных условиях							
Водораспылительная	вода	Угленит 13П	160	2	4	1,2	6
Аэрозольная порошковая	КСВ-30	то же	50	2	8	2,0	10



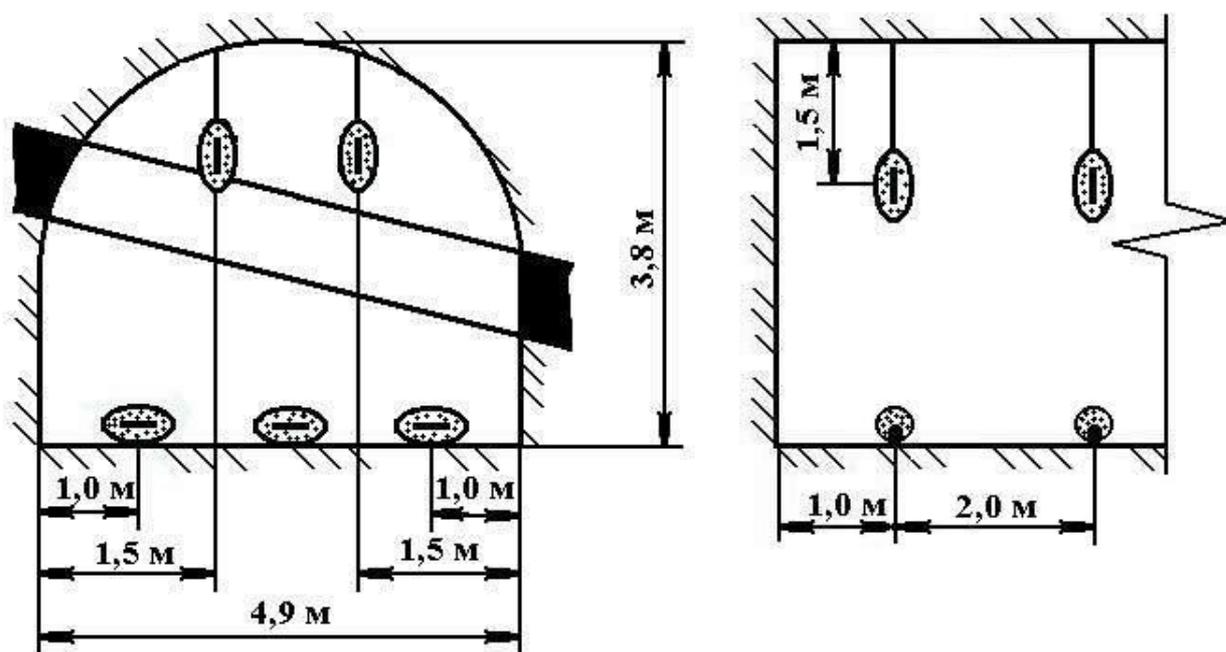
**Рис. 2.1** Расчетная схема размещения сосудов (пакетов) в поперечном сечении выработки для создания предохранительной завесы  
 а) водораспылительная                      б) аэрозольная



**Рис. 2.2** Схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов в выработке для создания водораспылительной завесы в условиях повышенной взрывоопасности



**Рис. 2.4** Схема расположения снаряженных полиэтиленовых сосудов для создания водораспылительной завесы в особо взрывоопасных условиях



**Рис. 2.5** Схема расположения снаряженных пакетов в выработке для создания аэрозольной порошковой завесы в особо взрывоопасных условиях

# ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 2

## (вариант 2)

Разработать схемы создания и рассчитать параметры водораспылительной и порошковой аэрозольной предохранительных завес при производстве взрывных работ в откаточном штреке, проводимом по пласту (мощность пласта равна 1,0 м), опасному по взрыву пыли, с отдельной выемкой угля (длина заходки по углю равна 2,0 м).

Параметры выработки и средства создания предохранительной завесы те же, что и в варианте 1.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ № 2

### 1 Расчет предохранительной завесы для условий взрывания по углю.

Порядок расчета такой же, как и при решении варианта 1.

В этом случае предохранительная среда создается по всему поперечному сечению выработки (см. рис. 2.2 и 2.3) и поэтому за параметр  $S_{вч}$  принимается площадь поперечного сечения выработки (а не площадь угольного забоя). Однако предпочтительно (если нет противоречий с минимально допустимыми расстояниями) полиэтиленовые сосуды (пакеты) располагать напротив угольного пласта.

#### 2 Расчет предохранительной завесы при породной подрывке.

##### 2.1 Расчет водораспылительной предохранительной завесы.

##### 2.1.1 Расчет параметров завесы в призабойном пространстве выработки:

а) расчет по удельному расходу по (2.1)

$$Q_{nc}^1 = 4 \cdot 16 = 64 \text{ л}$$

б) расчет исходя из схемы расположения сосудов с водой.

Т.к. ширина выработки превышает 3,0 м, но менее 6,5 м, то на почве укладываем два сосуда с водой 2-го типоразмера, т.е. вместимостью по 30 л каждый на расстоянии 1,0 м от боков выработки.

Т.к. высота выработки превышает 3,5 м, то дополнительно подвешиваем к крепи на расстоянии 1,5 м от кровли один сосуд вместимостью 20 л.

Тогда по (2.2) имеем

$$Q_{nc}^{11} = 30 \cdot 2 + 20 \cdot 1 = 80 \text{ л}$$

За нормативную величину принимаем большее из двух полученных значений, т.е.  $Q_{nc}^{11}$ . Следовательно, разработанная схема создания

водораспылительной завесы (см. рис. 2.2) принимается окончательной, т.е.  
 $Q_{nc\text{ит}} = Q_{nc}^{11} = 80 \text{ л.}$

Тогда

$$n_{nc1 \text{ ут}} = 1 \text{ шт.}, n_{nc2 \text{ ут}} = 2 \text{ шт.}$$

Определяем расход ВВ на создание основного ряда завесы

$$M_{вв1} = 0,2 \cdot (1 + 2) = 0,6 \text{ кг}$$

Определяем расход электродетонаторов на создание основного ряда завесы

$$N_{эд1} = 1 + 2 = 3 \text{ шт.}$$

### 2.1.2 Расчет параметров завесы в опережающей полости:

а) расчет по удельному расходу.

Порядок расчета параметров завесы в опережающей полости принят следующий:

а) расчет по удельному расходу

$$Q_{nc}^1 = q_{nc} \cdot S_3, \quad (2.3)$$

где  $S_3$  – площадь опережающего забоя,  $\text{м}^2$ ;

Из рис. 2.1 определяем площадь угольного забоя как площадь трапеции

$$S_3 = ((4,8 + 4,0) : 2) \cdot 1 = 4,4 \text{ м}^2$$

Тогда

$$Q_{nc}^1 = 4,0 \cdot 4,4 + 17,6 \text{ л}$$

б) расчет исходя из схемы расположения сосудов с водой.

Т.к. мощность пласта менее 2,0 м, то завесу создаем только с помощью уложенных на почве сосудов.

Так как ширина угольного забоя превышает 3,0 м, то укладываем на почве пласта два сосуда вместимостью 20 л каждый на расстоянии 1,0 м от боков полости.

Тогда по (2.2) имеем

$$Q_{nc}^{11} = 20 \cdot 2 + 30 \cdot 0 = 40 \text{ л}$$

За нормативную величину принимаем большее из двух полученных значений, т.е.  $Q_{nc}^{11}$ . Следовательно, схема создания завесы в опережающей полости принимается окончательной, т.е.  $Q_{nc\text{ит}} = Q_{nc}^{11}$ .

Тогда

$$n_{nc1 \text{ ут}} = 2 \text{ шт.}, n_{nc2 \text{ ут}} = 0 \text{ шт.}$$

$$M_{\text{ВВ2}} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ кг}$$

$$N_{\text{эд2}} = 2 \text{ шт.}$$

Общий расход сосудов на создание водораспылительной завесы составит

$$n_{\text{пс1 общ.}} = 1 + 2 = 3 \text{ шт.},$$

$$n_{\text{пс2 общ.}} = 2 + 0 = 2 \text{ шт.}$$

Общий расход воды

$$Q_{\text{пс.общ.}} = 80 + 40 = 120 \text{ л}$$

Общий расход ВВ

$$M_{\text{ВВ}} = 0,6 + 0,4 = 1,0 \text{ кг}$$

Общий расход электродетонаторов

$$N_{\text{эд общ.}} = 3 + 2 = 5 \text{ шт.}$$

Составляем окончательную схему формирования водораспылительной завесы (рис. 2.6).

Параметры водораспылительной завесы сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

### Параметры водораспылительной завесы

Вид предохранительной завесы	Наименование флегматизатора	Тип ВВ	Общий расход материалов на создание завесы				
			воды, л	сосудов, шт.		ВВ, кг	ЭД, шт.
				$n_{\text{пс1}}$	$n_{\text{пс2}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
Водораспылительная	Вода	угленил 13П	120	3	2	1,0	5

## 2.2 Расчет аэрозольной порошковой завесы.

2.2.1 Расчет параметров завесы в призабойном пространстве выработки:

а) расчет по удельному расходу

$$Q_{\text{пс}}^1 = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ кг}$$

б) расчет исходя из схемы расположения пакетов с порошковым ингибитором.

Т.к. ширина выработки более 3,6 м, но менее 6,6 м, то на почве укладываем два пакета с порошковым ингибитором массой 5,5 кг каждый на расстоянии 1,0 м от боков выработки.

Т.к. высота выработки превышает 3,5 м, то дополнительно подвешиваем к крепи на расстоянии 1,5 м от кровли один пакет вместимостью 5,5 кг.

Тогда получим

$$Q_{nc}^{11} = 3,0 \cdot 0 + 5,5 \cdot 3 = 16,5 \text{ кг}$$

Расчеты показали, что  $Q_{nc}^1 > Q_{nc}^{11}$  на величину равную  $24,0 - 16,5 = 7,5$  кг.

Поэтому добавляем в разработанную схему два пакета: один вместимостью 5,5 кг подвешиваем, а второй вместимостью 3,0 кг укладываем на почве выработки.

Тогда

$$Q_{ncym} = 5,5 \cdot 4 + 3,0 = 25 \text{ кг}$$

Определяем расход ВВ на создание основного ряда завесы

$$M_{BB1} = 0,2 \cdot 5 = 1,0 \text{ кг}$$

Определяем расход электродетонаторов на создание основного ряда завесы:

$$N_{эд} = 5 \text{ шт.}$$

### 2.2.2 Расчет параметров завесы в опережающей полости:

а) расчет по удельному расходу по (6.6)

$$Q_{nc}^1 = 1,5 \cdot 4,4 = 6,6 \text{ кг}$$

б) расчет исходя из схемы расположения пакетов с порошком.

Т.к. мощность пласта менее 2,0 м, то завесу создают только из уложенных на почве пакетов.

Т.к. ширина угольного забоя более 3,6 м, то укладываем на почве пласта два пакета: один первого и второго типоразмеров на расстоянии 1,0 м от боков полости.

Тогда по (6.7) находим

$$Q_{nc}^{11} = 5,5 + 3,0 = 8,5 \text{ кг}$$

За нормативную величину принимаем большее из двух полученных значений, т.е.  $Q_{nc}^{11}$ . Следовательно, схема создания завесы в опережающей полости принимается окончательной.

Тогда

$$\begin{aligned} n_{nc1 \text{ ут.}} &= 1 \text{ шт.}, n_{nc2 \text{ ут.}} = 1 \text{ шт.}; \\ M_{BB2} &= 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ кг}; \\ N_{эд2} &= 2 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Общий расход пакетов на создание аэрозольной завесы равен

$$n_{\text{пс1 общ.}} = 1 + 1 = 2 \text{ шт.},$$

$$n_{\text{пс2 общ.}} = 1 + 4 = 5 \text{ шт.}$$

Общий расход порошкового ингибитора составит

$$Q_{\text{посо.}} = 25,0 + 8,5 = 33,5 \text{ кг}$$

Общий расход ВВ равен

$$M_{\text{ВВ}} = 1,0 + 0,4 = 1,4 \text{ кг}$$

Общий расход электродетонаторов равен

$$N_{\text{эд общ.}} = 5 + 2 = 7 \text{ шт.}$$

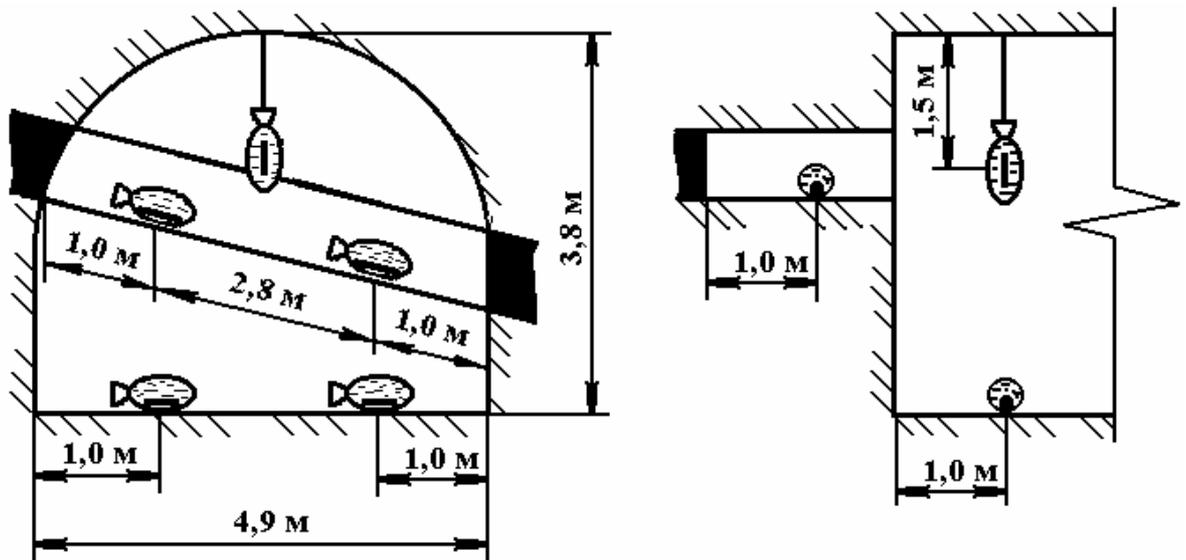
Составляем окончательную схему формирования аэрозольной порошковой завесы (рис. 2.7).

Параметры аэрозольной порошковой завесы сведены в табл. 2.7.

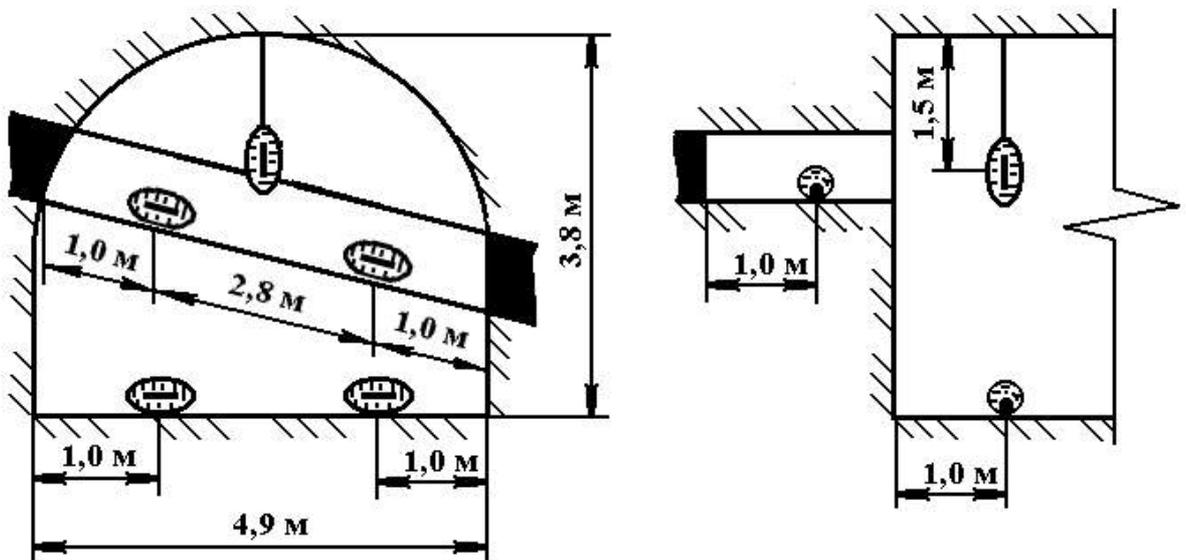
Таблица 2.7

### Параметры аэрозольной порошковой завесы

Вид предохранительной завесы	Шифр флегматизатора	Тип ВВ	Общий расход материалов на создание завесы				
			ингибитора, кг	пакетов, шт.		ВВ, кг	ЭД, шт.
				$n_{\text{пс1 ут}}$	$n_{\text{пс2 ут}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8
Аэрозольная порошковая	КСВ-30	Угленит 13П	33,5	2	5	1,4	7



**Рис. 2.6** Схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов для создания водораспылительной завесы при взрывании зарядов ВВ по породной подрывке



**Рис. 2.7** Схема размещения снаряженных полиэтиленовых пакетов для создания аэрозольной порошковой завесы при взрывании зарядов ВВ по породной подрывке

## ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 3

Тупиковая часть выработки заполнена на длину  $l_{c0}$  взрывчатой смесью. У забоя выработки возник источник воспламенения смеси. Такая ситуация привела к взрыву. На пути возможного распространения высокотемпературных продуктов взрыва (пламени) на расстоянии  $l_{c1}$  от забоя выработки формируется пламегасящая среда в виде дисперсной системы, создаваемой взрывным распылением порошкового флегматизатора, протяженностью  $l_{pc}$ . За пламегасящей средой, считая по ходу движения пламени, на протяжении  $l_{c2}$  также располагается взрывчатая смесь.

Необходимо установить как будет изменяться критическая дальность распространения высокотемпературных продуктов взрыва ( $L_k$ ) в зависимости от концентрации флегматизатора в пламегасящей среде ( $C$ ), т.е. удельного расхода распыленного взрывом порошка; построить диаграмму  $L-C$  и определить общий расход порошкового флегматизатора на локализацию взрыва в заданных условиях.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Воспламенение произошло у забоя тупиковой горной выработки арочной формы поперечного сечения.

Размеры выработки:

сечение – 16 м<sup>2</sup>;

высота – 3,8 м.

2. Призабойный участок заполнен взрывчатой метановоздушной смесью (МВС).

3. Источник воспламенения - открытый заряд аммонита Т-19 массой 0,15 кг.

Протяженность загазированного тупика выработки равна 20 м.

4. Пространственные параметры пламегасящей среды: она формируется на расстоянии 6 м от забоя.

5. Удельная теплота взрыва МВС равна  $q = 3,38 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>;

6. Локализация взрыва осуществляется взрывоподавляющим порошком ПСБ-ТМ ( $C_f = 19,8$  г/м<sup>3</sup>;  $\lambda = 2012 \cdot 10^3$  Дж/кг).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1 Расчет пикетного положения главных точек диаграммы.

Цель работы – вычисление пространственных параметров локализации взрыва в горной выработке.

Расчет ведем в следующем порядке.

Руководствуясь заданными соотношениями рассчитываем пикетное положение главных точек, а именно:

$$\ell_{c2} = \ell_{c1} = 6 \text{ м.}$$

Тогда по (3.4) находим

$$\ell_{пс} = 20 - (6 + 6) = 8 \text{ м}$$

1.2 На продольном разрезе горной выработки графически изображаем постановку задачи (до начала и после локализации взрыва): производим разбивку загазированного участка выработки протяженностью  $\ell_{co}$  на  $\ell_{c1}$ ,  $\ell_{пс}$  и  $\ell_{c2}$  и наносим критическую дальность распространения продуктов взрыва (рис. 3.1).

## 2 Определение максимального значения критической дальности.

### 2.1 Определяем объем загазированного участка выработки $V_{co}$

$$V_{co} = \ell_{co} \cdot S = 20 \cdot 16 = 320 \text{ м}^3$$

2.1 Руководствуясь экспериментальными данными, приведенными в Приложении 3, устанавливаем средние значения скорости развития взрыва на участках  $\ell_{co}$  ( $U_{co}$ ),  $\ell_{c1}$  ( $U_{c1}$ ) и  $\ell_{c2}$  ( $U_{c2}$ ), а именно:

$$U_{co} = \frac{20}{0,050 + \frac{0,055 \cdot 4,5}{20,5}} = \frac{20}{0,050 + 0,012} = 322,6 \text{ м/с}$$

$$U_{c1} = \frac{6}{0,015 + \frac{0,028 \cdot 5,6}{8}} = \frac{6}{0,015 + 0,020} = 171,4 \text{ м/с}$$

По формуле (3.5) находим

$$U_{c2} = \frac{171,4}{3} = 57,1 \text{ м/с}$$

2.3 Руководствуясь заданной скоростью развития взрыва ( $U_{co}$ ) определяем тепловую мощность взрыва  $Q_{tco}$

$$Q_{tco} = \frac{V_{co} \cdot U_{co} \cdot q}{\ell_{co}} = \frac{320 \cdot 322,6 \cdot 3,38 \cdot 10^6}{20} = 174,46 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

2.4 Определяем критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{co}$  в воздухе ( $\eta = 1$ ), т.е. до начала процесса локализации ( $L_{kco}$ )

$$L_{kco} = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{Q_{tco}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{174,46 \cdot 10^8} = 80,6 \text{ м}$$

## 3 Определение параметров первого порогового скачка.

3.1 Определяем взрывопредотвращающую концентрацию флегматизатора  $C_B$

$$C_B = 5 C_\phi = 5 \cdot 0,0198 \approx 0,1 \text{ кг/м}^3$$

3.2 Определяем объемы разделенных пламегасящей средой загазированных участков выработки «О-  $l_{c1}$ » ( $V_{c1}$ ) и « $l_{nc} - l_{co}$ » ( $V_{c2}$ )

$$V_{c1} = l_{c1} \cdot S = 6 \cdot 16 = 96 \text{ м}^3$$
$$V_{c2} = l_{c2} \cdot S = 6 \cdot 16 = 96 \text{ м}^3$$

3.3 Руководствуясь установленной скоростью развития взрыва ( $U_{c1}$ ) определяем тепловую мощность взрыва  $Q_{tc1}$

$$Q_{tc1} = \frac{V_{c1} \cdot U_{c1} \cdot q}{l_{c1}} = \frac{96 \cdot 171,4 \cdot 3,38 \cdot 10^6}{6} = 92,70 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

3.4 Определяем относительный показатель теплофизической эффективности пламегасящей среды ( $\eta$ ) при  $C = C_B = 0,1 \text{ кг}$

$$\eta = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot C_g \cdot \lambda \cdot \sqrt[3]{\lambda} + 1,1 = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1 \cdot (2012 \cdot 10^3) \cdot \sqrt[3]{2012 \cdot 10^3} = 1,7$$

3.5 Определяем критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{c1}$  ( $L_{kc1}$ ) по (3.8)

$$L_{kc1} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{92,70 \cdot 10^8}{1,7}} = 44,8 \text{ м}$$

3.6 Устанавливаем дальность распространения высокотемпературных продуктов взрыва МВС объемом  $V_{c1}$  за пределы загазированного участка выработки

$$\Delta L_{kc1} = L_{kc1} - (l_{nc} + l_{c2}) = 44,8 - (8 + 6) = 30,8$$

3.7 Руководствуясь установленной скоростью развития взрыва ( $U_{c2}$ ) определяем тепловую мощность взрыва  $Q_{tc2}$

$$Q_{tc2} = \frac{V_{c2} \cdot U_{c2} \cdot q}{l_{c2}} = \frac{96 \cdot 57,1 \cdot 3,38 \cdot 10^6}{6} = 30,88 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

3.8 Определяем критическую дальность разлета продуктов взрыва МВС объемом  $V_{c2}$  ( $L_{kc2}$ )

$$L_{кc2} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{Q_{tc2}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{30,88 \cdot 10^8} = 33,9 \text{ м}$$

#### 4 Определение параметров второго порогового скачка.

4.1 Определяем относительный показатель  $\eta$ , при котором локализация взрыва (гашение пламени) достигается в пределах пламегасящей среды, т.е. при  $L_k = \ell_{nc}$ , по формуле (3.9)

$$\eta = \frac{37,58 \cdot 10^{-8} \cdot Q_{tc1}}{\ell_{nc}^2} = \frac{37,58 \cdot 10^{-8} \cdot 32,45 \cdot 10^8}{8^2} = 19,05$$

4.2 Определяем пламегасящую концентрацию по формуле (3.10)

$$C_n = \frac{2,5 \cdot 10^7 \cdot \lambda^{-1,29} \cdot (\eta - 1,1)}{\lambda \cdot \sqrt[3]{\lambda}} = \frac{2,5 \cdot 10^7 \cdot (19,05 - 1,1)}{2012 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{2012 \cdot 10^3}} = 2,6 \text{ кг/м}^3$$

#### 5 Построение участка кривой $L_k = f(C)$ при $C > C_{п.}$

5.1 Определяем относительный показатель  $\eta$  при двух значениях концентрации, а именно: при  $C_6 = 1,25 C_{п.} = 1,25 \cdot 2,6 = 3,3 \text{ кг/м}^3$  и  $C_7 = 1,50 C_{п.} = 1,50 \cdot 2,6 = 3,9 \text{ кг/м}^3$

$$\eta_6 = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot 3,3 \cdot (2012 \cdot 10^3) \cdot \sqrt[3]{2012 \cdot 10^3} + 1,1 = 26,5$$

$$\eta_7 = 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot 3,9 \cdot (2012 \cdot 10^3) \cdot \sqrt[3]{2012 \cdot 10^3} + 1,1 = 31,9$$

5.2 Определяем критическую дальность разлета продуктов взрыва тепловой мощностью  $Q_{tc1}$  при установленных в п.5.1 значениях  $\eta$

$$L_{к6} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{92,7 \cdot 10^8}{26,5}} = 11,4 \text{ м}$$

$$L_{к7} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{92,7 \cdot 10^8}{31,9}} = 10,4 \text{ м}$$

#### 6 Построение диаграммы $L - C$ (рис. 3.2).

6.1 Строим координатную сетку  $L - C$ , на которой наносим все главные точки. Из этих точек проводим тонкие линии параллельные оси абсцисс.

6.2 На оси ординат откладываем величину  $L_{ксо}$  и ставим точку 1, из которой проводим тонкую линию параллельно оси абсцисс.

6.3 На оси абсцисс наносим точку  $C_{в.}$ , из которой проводим прямую параллельную оси ординат. На пересечении этого луча с лучом проведенного из точки 1 ставим точку 2.

- 6.4 Так как  $L_{кc2} > \Delta L_{кc1}$ , то на луче, проведенном из точки  $C_B$ , откладываем вверх величину  $L_{кc2}$ , начиная от точки пересечения его с лучом, проведенном из точки  $\ell_{co}$ , и ставим точку 3.
- 6.5 На ось абсцисс наносим точку  $C_{\Pi}$  и проводим из нее тонкую линию параллельную оси ординат. На пересечении этой линии с лучом, проведенным из точки 3 параллельно оси абсцисс, ставим точку 4, а на пересечении этой линии с лучом, проведенном из точки  $\ell_{пс}$ , ставим точку 5.
- 6.6 На оси абсцисс наносим точки  $C_6$  и  $C_7$ . На лучах, проведенных из этих точек параллельно оси ординат откладываем, начиная от точки пересечения их с лучом, проведенным из точки  $\ell_{c1}$ , величины  $L_{к6}$  и  $L_{к7}$  соответственно и ставим точки 6 и 7.
- 6.7 Сплошной толстой прямой линией соединяем между собой точку 1 и точку 2, точку 2 и точку 3, точку 3 и точку 4, точку 4 и точку 5. Точки 5; 6 и 7 соединяем плавной толстой линией.
- 7 Вычисление расхода флегматизатора на локализацию взрыва.
- 7.1 Устанавливаем удельный расход флегматизатора  $C_{вп}$ :

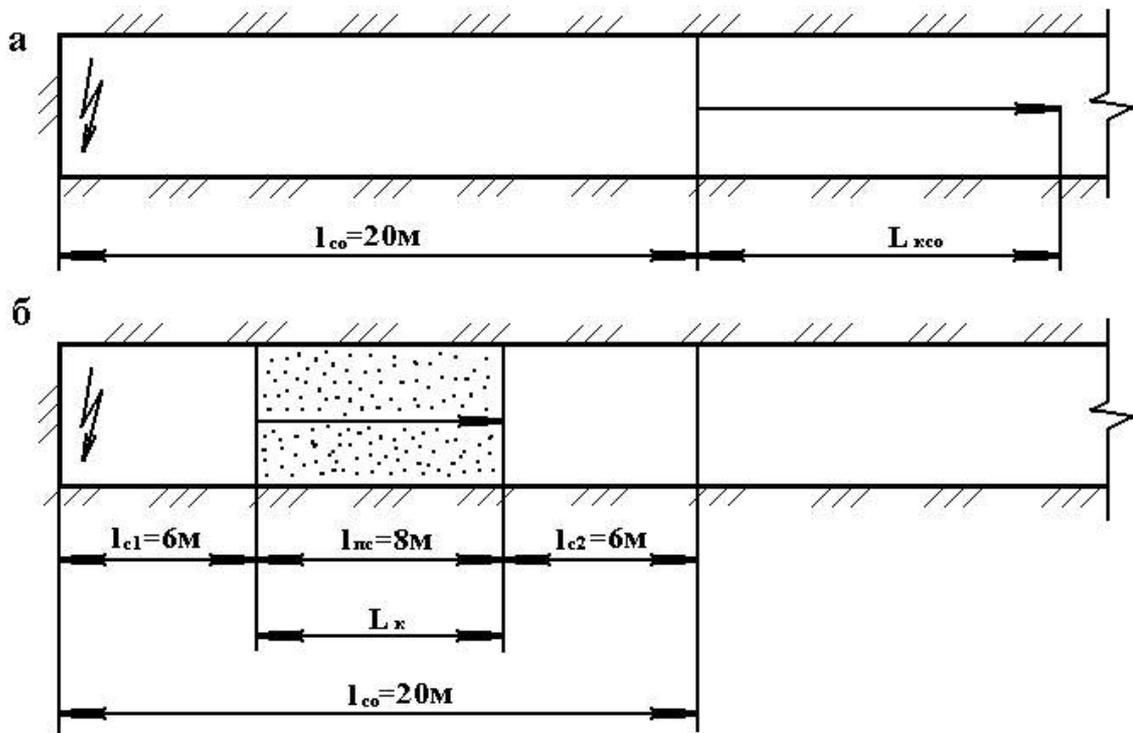
$$C_{вп} = C_{\Pi} = 2,6 \text{ кг/м}^3 .$$

- 7.2 Вычисляем объем пламегасящей среды

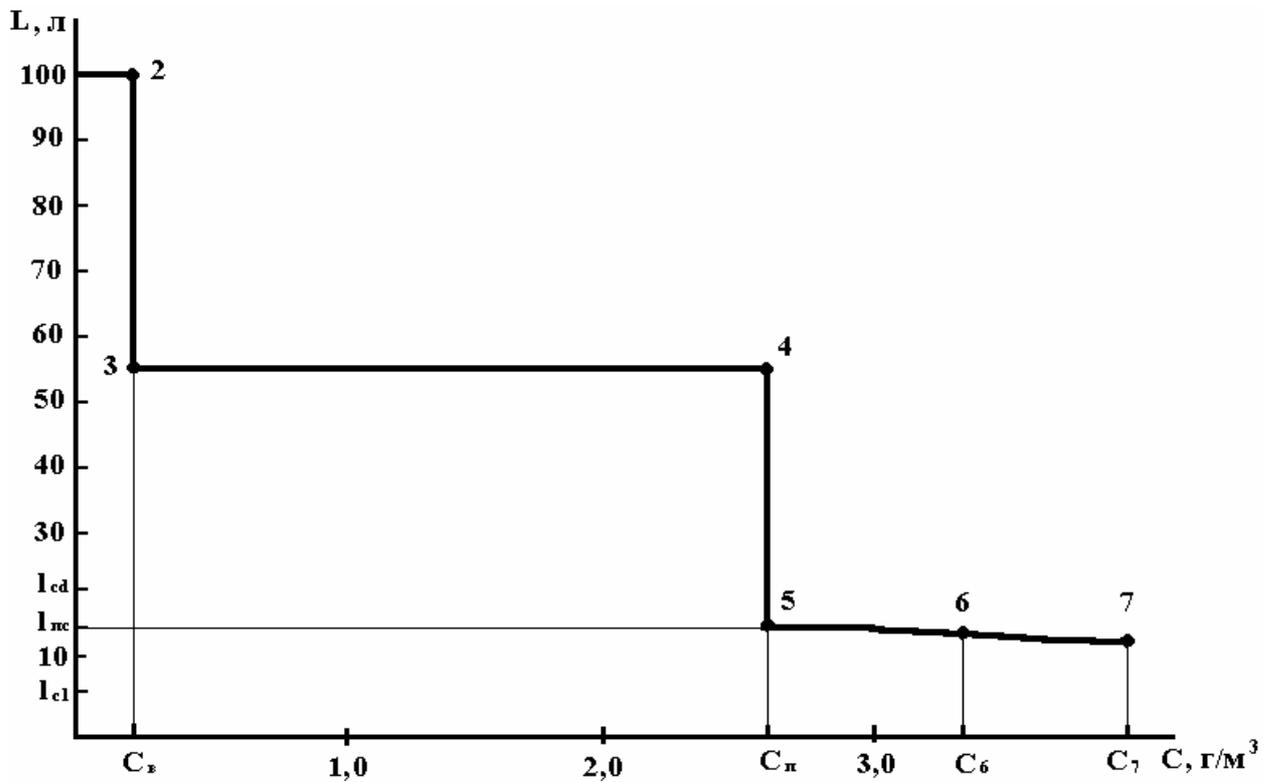
$$V_{пс} = \ell_{пс} \cdot S = 8 \cdot 16 = 128 \text{ м}^3$$

- 7.3 Определяем общий расход флегматизатора

$$M_{вп} = C_{вп} \cdot V_{пс} = 2,6 \cdot 128 = 332,8 \text{ кг}$$



**Рис. 3.1** Схематическое изображение постановки задачи  
 а) исходная ситуация (до начала локализации взрыва);  
 б) после локализации взрыва.



**Рис. 3.2** Диаграмма локализации взрыва

